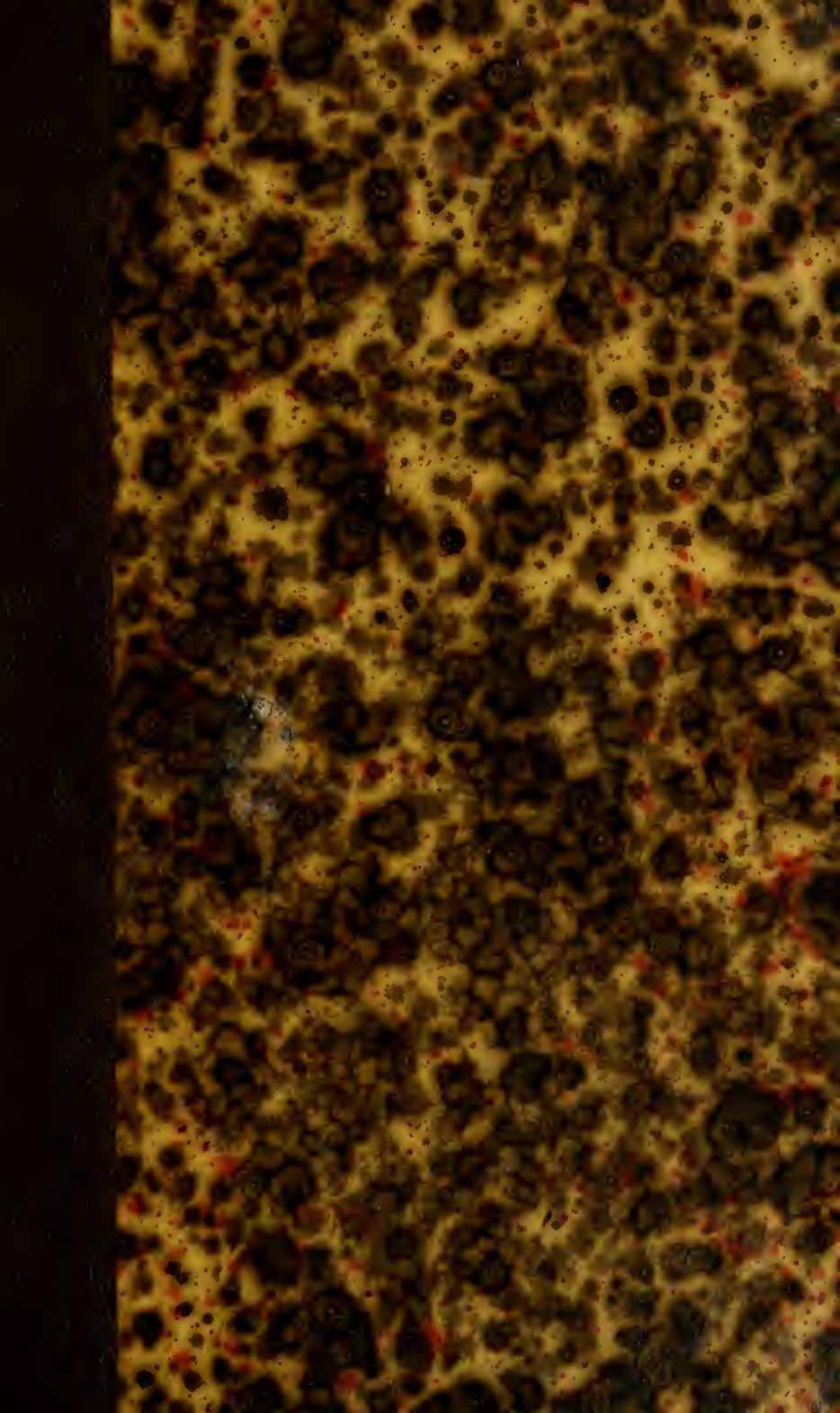


DUKE
UNIVERSITY
LIBRARY

Treasure Room

Digitized by the Internet Archive
in 2011 with funding from
Duke University Libraries

http://www.archive.org/details/traitexprime03becq

TR. R
E398T
Vol. 3

TRAITÉ
DE L'ÉLECTRICITÉ
ET
DU MAGNÉTISME.

TOME III.

IMPRIMERIE DE FIRMIN DIDOT FRÈRES,
IMPRIMEURS DE L'INSTITUT, RUE JACOB, N° 24.

TRAITÉ

EXPÉRIMENTAL

DE

L'ÉLECTRICITÉ

ET DU MAGNÉTISME,

ET DE LEURS RAPPORTS AVEC LES PHÉNOMÈNES NATURELS ;

PAR M. BECQUEREL,

DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE L'INSTITUT DE FRANCE, ETC.

.....Si quid novisti rectius istis,
Candidus imperti : si non, his utere mecum.

TOME TROISIÈME.

PARIS.

FIRMIN DIDOT FRÈRES, LIBRAIRES,

RUE JACOB, N° 24.

M DCCC XXXV.

TITRES

DES PRINCIPAUX MÉMOIRES QUI ONT PARU DANS LES JOURNAUX SCIENTIFIQUES ALLEMANDS SUR L'ÉLECTRICITÉ ET LE MAGNÉTISME.

ANNALES DE PHYSIQUE

MISES EN ORDRE PAR LOUIS WILHELM GILBERT.

SPALLANZANI. Sur les phénomènes naturels de phosphorescence dans l'atmosphère et dans les substances solides; T. I, p. 64.

VAN MARUM, de Haarlem. Description d'une forte batterie électrique de 450 jarres et de quelques expériences qui ont été faites avec cette batterie; T. I, p. 68.

VAN MARUM. Recherches touchant l'influence de l'électricité sur le pouls et la transpiration insensible; T. I, p 88.

VAN MARUM. Expériences sur différents sujets relatifs à l'électricité; T. I, p. 109, 112, 239, 256.

J. W. RITTER. Quelques observations sur le galvanisme de la nature organique, et sur la liaison qu'il y a entre les phénomènes chimiques du corps humain et les phénomènes électriques; T. II, p. 80.

J. CUTHRERTSON. Nouveau moyen très-simple pour augmenter considérablement la puissance de la bouteille électrique et de la batterie; méthode pour mesurer d'une manière précise cette puissance, et description d'un nouvel électromètre universel; T. III, p. 1.

VAN ARNIM. Idées sur une théorie du magnétisme; T. III, p. 45.

ARNIM. Observations sur les propriétés chimiques du magnétisme; T. III, p. 48.

ARNIM. Recherches relatives à l'influence des barreaux aimantés sur les phénomènes galvaniques; T. III, p. 63.

J. W. RITTER. Quelques observations sur la cohésion et sur la liaison des phénomènes qui s'y rapportent avec le magnétisme; T. IV, p. 1.

ALDINI. Recherches électriques; T. IV, p. 419.

ARNIM. Recherches et observations sur les rapports qui existent entre les phénomènes chimiques et les phénomènes électriques du corps; T. V, p. 33.

ARNIM. Sur quelques effets de l'éclair et sur la cause du tonnerre; T. V, p. 70.

ARNIM. Observations et recherches touchant l'influence de l'électricité sur la cristallisation; T. V, p. 73.

WACHTER. Nouvelles recherches sur le granit magnétique du Hartz; T. V, p. 376.

Arnim. Coup d'œil sur le magnétisme des matières non métalliques; T. V, p 384.

Heller, de Fulde. Recherches sur le pouvoir conducteur de l'eau, et réflexions sur la lumière électrique; T. VI, p. 249.

Cruickshank. Recherches et observations sur quelques phénomènes chimiques de l'électricité galvanique; T. VI, p. 360.

Cruickshank. Sur les propriétés chimiques de l'électricité galvanique; T. VII, p. 88-97.

Haldane. Sur l'efficacité de l'union de quelques métaux différents dans la pile de Volta; sa puissance augmente avec la quantité de matière contenue dans la plaque et son épaisseur; mode d'action de la pile dans quelques circonstances; T. VII, p. 190-202.

Bochmann, de Carlsruhe. Recherches faites avec la pile; T. VII, 242 et 259.

Pfaff, de Kiel. Recherches faites avec la pile et sur l'identité des fluides galvaniques et électriques; T. VII, p. 247.

Hebebrand, conseiller. Remarques sur les étincelles de la pile et les sensations qu'elles produisent; T. VII, p. 254.

Treviranus. Nouvelles recherches sur l'influence de l'électricité galvanique sur les végétaux et les infusions végétales; T. VII, p. 281.

Grimm, de Breslau. Recherches sur la pile de Volta et sur l'augmentation des sécrétions animales, par l'électricité galvanique; T. VII, p. 348.

Pfaff, de Kiel. Description d'un appareil simple et commode, pour faciliter les recherches relatives aux effets de l'électricité galvanique sur l'eau; T. VII, p. 363; Recherches sur la pile, p. 37.

Ritter. Probabilité de l'existence du fluide galvanique dans les plantes et les animaux; T. VII, p. 431.

Ritter. Action de l'électricité galvanique sur les appareils sensoriaux de l'homme; T. VII, p. 447.

Bourguet. Recherches sur les fortes décharges de l'électricité galvanique; T. VII, p. 485.

Hermstad, de Berlin. Recherches sur l'influence de l'électricité dans les évaporations; conséquences météorologiques; T. VII, p. 501.

Pfaff. Recherches sur les étincelles galvaniques et les effets de la pile de Volta dans la décomposition de l'eau; T. VII, p. 514.

Henry Steffens, de Freiberg. Recherches avec la pile de Volta sur la décomposition de l'ammoniaque; T. VII, p. 521.

Simon, de Berlin. Nouvel appareil pour examiner l'action de l'électricité galvanique sur les fluides; Propriétés d'un nouveau galvanoscope; Action de l'électricité voltaïque sur l'eau et l'acide sulfurique concentré; T. VIII, p. 22-30-36.

Treviranus. Influences du galvanisme sur l'irritabilité animale; T. VIII, p. 69.

Arnim. Théorie relative à la polarité du magnétisme; T. VIII, p. 84.

Treviranus. Recherches galvanico-météorologiques; T. VIII, p. 129.

Boekmann. Sur la construction de la pile; Action de l'électricité voltaïque sur le corps des animaux; Des étincelles électriques; Effets chimiques de l'électricité galvanique; T. VIII, p. 137-143-145-152.

Arnim. Rapports suivant lesquels l'électricité voltaïque se partage entre les conducteurs. Des pôles et de leurs changements; T. VIII, p. 163-182.

Erman, de Berlin. Sur quelques phénomènes de la pile; T. VIII, p. 197.

Gruner, de Hanovre. Arborisations remarquables d'argent produites par l'électricité galvanique sans le concours de l'eau; T. VIII, p. 216.

Arnim. Action de la pile de Volta sur les matières animales et végétales; T. VIII, p. 257-270.

Einhorf. Recherches sur l'activité qu'imprime à la pile de Volta l'union de quelques métaux et de quelques acides; T. VIII, p. 316

Ritter. Recherches sur l'électricité voltaïque; polarité de la pile de Volta et identité des fluides galvaniques et électriques; dégagement des deux électricités, dans toute batterie voltaïque, analogue à ce qui se passe dans le magnétisme de l'aimant; polarité chimique de la pile; indépendance des phénomènes physiques, chimiques et physiologiques de la pile de Volta; bruit des étincelles; T. VIII, p. 385-387-445.

Bohnenberger. Modifications apportées à quelques appareils électriques de Nicholson, Bennett et Cavallo; manière de s'en servir; T. IX, p. 158.

Ritter. Manière dont se comporte l'étincelle galvanique dans les conducteurs de la pile; T. IX, p. 335.

Ludicke, de Meissen. Recherches avec la batterie magnétique; T. IX, p. 385.

De Simon, de Berlin. Ses recherches avec des disques volumineux, et ses observations sur les acides et les solutions salines; T. IX, p. 385.

Bucholz. Observations et recherches sur l'électricité galvanique et quelques-unes de ses propriétés chimiques; T. IX, p 434.

Volta. Lettre à Pfaff sur le galvanisme; T. IX, p. 489.

Arnim. Sur la dénomination des pôles de la pile de Volta; T. IX, 494.

Erman, de Berlin. Recherches électroscopiques; T. X, p. 1.

Heidmann. Résultats des recherches faites avec une réunion de métaux de diverse nature, ou avec la pile de Volta; T. X, p. 50.

Lettre de Van Marum à Alexandre Volta, sur les recherches faites avec la pile à Haarlem dans le laboratoire de Teyler. T. X, p. 121.

Pfaff. Exposé des principes de

la théorie de la pile de Volta; T. X, p. 219.

Lettres des professeurs Ebeling et Klugel sur des guérisons opérées avec l'électricité galvanique; T. X, p. 379.

Voltre, professeur à Jever. Récit de guérisons remarquables de sourds et muets, opérées par le pharmacien Sprenger au moyen de l'électricité galvanique; T. X, p. 380.

Tourdes, à Strasbourg. Lettre à Volta sur l'irritabilité de la fibre animale du sang par l'électricité galvanique; vitalité du sang; T. X, p. 499.

Reuss, de Stuggard. Récit de guérisons opérées par lui au moyen de l'électricité galvanique; T. X, p. 104.

Ludicke, de Meissen. Suite de ses recherches avec une réunion de barreaux d'acier aimantés, et observations sur la pile de Volta; T. XI, p. 114.

Erman, de Berlin. Sur la faculté conductrice de la flamme et du charbon; vide pour l'électricité voltaïque; T. XI, p. 143.

— Recherches pour prouver que l'eau perd, quand elle se congèle, sa faculté conductrice pour l'électricité de la pile et pour toute autre espèce d'électricité; T. XI, p. 166.

Lettre de Van Marum à Berthollet sur une méthode pour décomposer l'eau avec une machine électrique aussi bien qu'avec la pile voltaïque; T. XI, p. 220.

Grimm, professeur à Leignitz. Recherches avec une pile voltaïque de 495 couples; T. XI, p. 222.

Parrot, de Riga. (Lettre.) Esquisse d'une nouvelle théorie de l'électricité galvanique et sur la décomposition de l'eau opérée par elle; T. XII, p. 49.

Erdmann, de Wien. Description d'un appareil voltaïque inventé par Bremzer, de Wien, pour découvrir si la mort n'est qu'apparente, et rappeler à la vie ceux qui en sont atteints; T. XII, p. 450.

Erdmann, de Wien. Description d'un nouvel appareil voltaïque très-actif; T. XII, p. 458.

Heinrich Reinhold, de Zelle. Observations sur quelques recherches galvaniques faites sur les sourds et muets; T. XII, p. 230.

Curtet. Quelques observations galvano-électriques sur le charbon et de l'influence de la pile de Volta sur la machine électrique; T. XII, p. 361.

Erdmann. Suite de ses recherches galvano-électriques appliquées à la médecine; T. XII, p. 374.

Ritter. Recherches faites avec une pile de Volta composée de 600 plaques cuivre et zinc; T. XIII, p. 1.

Ritter. Suite de ses recherches avec la batterie de 600 plaques cuivre et zinc; T. XIII, p. 265.

Jager, de Stuggard. De l'action de la pile de Volta et de ses conducteurs sur les électroscopes; T. XIII, p. 399.

Siosten. Recherches sur les propriétés de l'électricité positive négative du corps de l'homme; T. XIII, p. 471.

Muller, à Breslau. Observations galvaniques sur son corps; T. XIII, p. 477.

Basse. Recherches galvaniques et observations sur les grandes propriétés conductrices des métaux, des fluides et de la terre; T. XIV, p. 26.

Maréchaux, de Wesel. Résultat de ses recherches galvano-électriques sur les gaz; et nouvelle théorie de l'électricité; T. XIV, p. 118.

Steinhauser. Lettre à Langguth, de Wittemberg, sur la soi-disant décomposition de l'eau par le magnétisme; recherches électriques sur l'homme et les animaux; T. XIV, p. 125.

Gahn, assesseur à Fahlun. Recherches galvanico-électriques faites à Schwede; T. XIV, p. 235.

Erman, de Berlin. Sur la décharge de la pile de Volta, au moyen d'un rapide courant d'eau; T. XIV, p. 385.

Clos, professeur de botanique à Sorèze. Insensibilité des plantes pour l'électricité; T. XIV, p. 423.

Maréchaux, de Wesel. Nouvel électromètre d'une sensibilité excessive, et recherches faites avec lui sur l'électricité de la pile voltaïque; T. XV, p. 98.

Ritter. Ses Recherches avec la pile de Volta. — Découverte d'une nouvelle polarité électrique de la terre; T. XV, p. 106.

Ritter. Observations sur les aurores boréales, sur les connexions de leurs phénomènes avec le magnétisme, et sur les connexions du magnétisme avec les globes de feux qu'on voit dans l'atmosphère, les éclairs et l'électricité; T. XV, p. 206.

Erman, de Berlin. Mesure de l'électricité atmosphérique; T. XV, p. 385.

Maréchaux, de Wesel. Description de son micromètre électrique, et nouvelles recherches faites avec cet instrument; T. XVI, p. 115.

Ritter. Suite de ses recherches sur les aurores boréales et de leurs rapports avec les divers phénomènes énoncés.

Ritter. (Ire lettre à l'Hérausgeber) sur le rang que doivent occuper dans l'échelle électrique le palladium et d'autres métaux; T. XVI, p. 293.

Ritter. 2e lettre sur l'irritabilité des organes des animaux par le galvanisme; T. XVI, p. 320.

Heidmann, docteur-médecin. Justesse des recherches de Tourdes et de Circaud sur l'excitabilité des fibres musculaires par l'électricité galvanique. — Observations faites par lui sur les changements que subit le sang par l'action des rayons solaires et sur l'accroissement que donne à son action l'électricité galvanique; T. XVII, p. 1.

Rémer, de Helmstadt. Recherches électriques et observations sur les apparences lumineuses dans les briquets à air; T. XVII, p. 15.

Gersdorf, de Meffersdorf. Nouvelles recherches sur quelques propriétés de l'électricité qui attire vers elle les matières colorées réduites en poussière très-fine; T. XVII, p. 200.

Ritter. Nouvelles recherches et observations sur le galvanisme. — Des effets d'une grosse batterie électrique sur les organes du sentiment et en particulier sur l'œil. — De la possibilité d'augmenter la puissance du galvanisme, jusqu'à l'infini; T. XIX, p. 1.

Van Marum et Van Mons, à Bruxelles. Quelques recherches et observations galvaniques et électriques faites dans le Muséum de Haarlem; T. XIX, 488.

Heidmann, de Vienne. Nouvelle échelle galvanique dans laquelle il a classé les solides et les fluides, d'après l'ordre de leurs actions galvaniques et de leurs propriétés chimiques; T. XXI, p. 85.

Erman, professeur à Berlin. Sur les différences que présentent les corps relativement à leurs facultés conductrices pour le galvanisme; T. XXII, p. 14.

Ritter. Lettre sur ses nouveaux travaux magnétiques (1806); T. XXII, p. 223.

Maréchaux, de Wesel. Pile galvanique sans liquides. — Piles composées de matières végétales; T. XXII, p. 318.

Schweigger. Recherches avec un nouvel électromètre particulier, qui semble combattre la théorie de Volta; T. XXII, p. 407.

Behrens. Sur l'électricité atmosphérique; T. XXIII, p. 13.

Behrens. Exposition d'une hypothèse sur les aurores boréales; T. XXIII, p. 28.

Schweigger. Supplément à ses recherches avec son électromoteur dont il a été parlé; T. XXIII, p. 114.

Maréchaux, de Wesel. Recherches sur une pile galvanique sans humidité; T. XXIII, p. 220.

Gruner, à Hanovre. Quelques recherches sur la formation d'acides et d'alcalis dans l'eau qui est soumise à l'action de la pile de Volta; T. XXIV, p. 85.

Gruner, de Hanovre. Production de la chaleur dans les conducteurs d'une forte de pile; T. XXV, p. 149.

Phénomènes galvaniques sur les grenouilles; T. XXV, p. 149.

Erman, de Berlin. Recherches sur la polarité électrique de la terre, qui, selon lui, serait toujours chargée d'électricité (électricité permanente), et des effets chimico-magnétiques; T. XXVI, p. 1.

Erman, de Berlin. 2e Mémoire sur le même sujet; T. XXVI, p. 121.

Hisinger et Berzelius. Recherches galvanico-électriques faites en Suède, traduites

par Droysen; T. XXVII, p. 269.

1er *Chapitre.* — Recherches sur les effets de la pile de Volta; T. XXVII, p. 270.

2e *Chapitre.* — Recherches sur les effets de la pile de Volta dans les substances animales et végétales, par Hisinger; T. XXVII, p. 304.

3e *Chapitre.* — Recherches pour décomposer l'eau, au moyen des étincelles de l'électricité ordinaire de la machine, par Gahn et Hisinger; T. XXVII, p. 311.

4e *Chapitre.* — Berzelius. Recherches électroscopiques; T. XXVII, p. 316.

Gilbert. Quelques observations sur l'électricité développée au contact, et sur la théorie de la pile de Volta, émises par M. Berzelius; T. XXVIII, p. 203.

Pfaff. Système électrique des corps; résultat de ses recherches, et critique de celles de Ritter sur le même sujet; T. XXVIII, p. 223.

Mollweide, de Halle. Théorie de la déviation et de l'inclinaison de l'aiguille aimantée; T. XXIX, p. 1.

Schubert. Observations des déviations et inclinaisons de l'aiguille aimantée, dans quelques parties de la Sibérie, en 1805; T. XXIX, p. 217.

Mollweide. Théorie de la déviation et de l'inclinaison de l'aiguille aimantée (2e travail); T. XXIX, p. 251.

Alexandre de Humboldt, de Berlin. Observations touchant l'influence des aurores boréales sur l'aiguille aimantée; T. XXIX, p. 425.

Bugge. Déviations de l'aiguille aimantée à Copenhague; T. XXIX, p. 433.

Simon, de Berlin. De l'action d'une grande quantité d'électricité sur quelques substances minérales; T. XXX, p. 54.

Hildebrand. Lettre à Gilbert. — Pile voltaïque de trois métaux; T. XXX, p. 67.

Huth. Description d'un météore électrique observé à Francfort-sur-l'Oder; T. XXX, p. 238.

Prechtl. Observations sur les modifications des charges électriques des corps, avec l'exposition des principes d'Erman, et des pouvoirs conducteurs différents de quelques substances pour l'électricité galvanique; T. XXXV, p. 28.

Berzelius. Recherches faites sur la théorie de la pile de Volta, et additions à ses recherches sur l'extraction des métaux, des alcalis et sur les nombreux rapports des acides et des sels avec les métaux; T. XXXV, p. 269.

Gustave Schubler, de Stuggard. Recherches touchant l'influence de l'électricité sur le sang et la respiration; T. XXXIX, p. 300.

Paul Erman. Quelques observations sur la contraction musculaire; T. XL, p. 1.

Naffe, à Bielefeld. Recherches sur l'influence de l'électricité sur les étamines des fleurs

de l'épine-vinette; T. XLI, p. 392.

Thiéri. Cures très-remarquables opérées dans un temps très-court, au moyen de l'électricité; T. XLVII, p. 108.

Stromeyer. Analyse de deux aimants naturels, et observations sur les aimants artificiels; T. XLVIII, p. 183.

Berzelius. Lettre à Gilbert sur l'aimant, et ses recherches d'un système minéralogique; T. XLVIII, p. 209.

Mayer, de Gœttingue. Description d'une nouvelle boussole d'inclinaison, et d'une méthode certaine pour déterminer plus exactement l'inclinaison magnétique; T. XLVIII, p. 229.

Jager, de Stuggard. Sur la pile de Zamboni et quelques autres piles sèches; T. XLIX, p. 47 et 61.

Schuler et Zamboni. Recherches avec la pile sèche; T. XLIX, p. 123.

Ludicke, de Meissen. Sur les effets puissants de la pile sèche; T. L, p. 447.

Bohnenberger, de Tubingen. Corrections à son électromètre; T. LI, p. 90.

Weber, de Munich. Invention et construction d'un double électrophore de résine et de verre; T. LI, 198.

Brandes. Recherches électro-chimiques; T. LII, p. 372.

Bohnenberger. Recherches sur une pile sèche; T. LIII, p. 346.

Théodore Grotthuss. Quatre Mémoires sur les propriétés chimiques de la lumière et de l'électricité; T. LXI, p. 51-57 et 60.

Sur la décomposition de l'eau dans le conducteur de la pile de Volta; T. LXI, p. 65.

Parrot. Sur les moyens de mesurer l'électricité; T. LXI, p. 253.

Recherches sur les déviations dans l'électromètre; T. LXI, p. 267.

Recherches sur les effets de la condensation; T. LXI, p. 280.

Sur la théorie de Volta, relative à l'électricité galvanique; T. LXI, p. 288.

Yelin, de Munich. Sur le magnétisme, l'électricité et leur identité; T. LXII, p. 93.

Erman, de Berlin. Sur la tension électrique qu'on obtient par le contact de deux plans de forme différente; T. LXIV, p. 45.

Gmelin. Sur la coagulation de l'albumine par l'électricité galvanique.

Brandes. Recherches sur l'albumine, les autres liquides animaux, et leurs propriétés électro-chimiques; T. LXIV, p. 354.

Home et Brandes. Recherches galvano-électriques sur les sécrétions animales; T. LXIV, p. 362.

Steinhauser. Sur le magnétisme de la terre; T. LXV, p. 267.

Hansteen. Recherches sur le magnétisme terrestre; T. LXV, p. 318.

Macaire. Sur le contact des métaux; T. LXV, p. 348.

Steinhauser. Éclaircissements sur les deux cartes magnétiques; T. LXV, p. 409.

Gilbert. Expériences relatives à l'influence du circuit voltaïque sur l'aiguille aimantée; T. LXVI, p. 331.

Prechtl. Recherches sur le magnétisme et ses rapports avec l'électricité; T. LXVII, p. 811.

Lettres et recherches sur l'électricité magnétique et sur quelques globes de feu, de Erman, de Berlin; T. LXVII, p. 220; — de Prechtl; T. LXVII, p. 221; — de Dobereiner, à Iéna; T. LXVII, p. 223; — de Brandes, à Breslau; T. LXVII, p. 224.

Erman, de Berlin. Recherches sur le magnétisme du circuit voltaïque fermé; T. LXVII, p. 382.

Yelin, de Munich. Recherches sur les rapports de l'électricité et du magnétisme; T. LXVIII, p. 17.

Ludicke. De l'influence des circuits magnétiques sur la cristallisation des sels; T. LXVIII, p. 76.

Prechtl. Sur la théorie du magnétisme; T. LXVIII, p. 187.

Hansteen. Découverte de quelques variations quotidiennes et mensuelles dans l'intensité du magnétisme terrestre et sur la polarité magnétique générale; T. LXVIII, p. 255.

Van-Beck. Recherches électro-magnétiques; T. LXVIII, p. 303.

Pohl, à Berlin. Recherches et observations sur les rapports du magnétisme avec l'électricité et la chimie, et particulièrement sur la nature et le mode d'action de la puissance magnétique des conduits et circuits voltaïques; T. LXIX, p. 71.

Egen. Recherches sur l'électricité développée au contact; T. LXIX, p. 385.

Hansteen, de Christiana. Corrections de la détermination de l'équateur magnétique, faites sur sa carte d'inclinaison; T. LXX, p. 23.

Hansteen. Lettre à Gilbert, sur le magnétisme de la terre; T. LXX, p. 110.

Hansteen. Sur quelques recherches de Seebeck, et sur la puissance de l'électro-magnétisme; T. LXX, p. 175.

Macaire, de Leipzig. Sur la phosphorescence du ver luisant; T. LXX, p. 265. — Influence des agents de l'électricité; T. LXX, p. 276.

Moll, d'Utrecht. Recherches électriques; T. LXXI, p. 90.

Hansteen, de Christiani. Résultat des observations magnétiques qui ont été faites par Ross et Parry, pendant leur voyage dans les mers polaires et dans l'Océan; T. LXXI, p. 273.

Gilbert. Éclaircissements, avec une carte magnétique, sur la nouvelle carte magnétique de Hansteen; T. LXXI, p. 291.

Van-Beck, Moll, Van-Rees et Van-Bos, d'Utrecht. Recherches sur l'aimantation de l'acier par l'électricité de la machine; T. LXXII, p. 12.

Pfaff, de Kiel. Aimantation

par un éclair, etc.; T. LXXII, p. 161.

Pohl. Recherches sur les mouvements électro-magnétiques, et de ces mouvements en général ; T. LXXIII, p. 252.

OErsted. Recherches électro-magnétiques ; T. LXXIII, p. 278.

Yelin. Recherches sur la production de phénomènes électro-magnétiques par des actions chimiques; T. LXXIII, p. 340.

Yelin, de Munich. Nouvelle recherche sur les propriétés magnétiques des métaux qui ont pu être aimantés jusqu'à présent; T. LXXIII, p. 361.

Yelin. Du thermo-magnétisme des métaux ; T. LXXIII, p. 423.

OErsted. Analyse des nouvelles recherches électro-magnétiques de Seebeck, de Berlin; T. LXXIII, p. 430.

Van-Beck, d'Utrecht. Nouveaux effets thermo-électro-magnétiques ; T. LXXIII, p. 433.

Witting, de Honter. Observations sur la réduction du plomb par la voie humide; influence du galvanisme sur ce phénomène, et du pouvoir qu'ont les tissus animaux de laisser passer les fluides; T. LXXIV, p. 424.

Yelin, de Munich. Sur l'électricité du papier; T. LXXV, p. 197.

Pohl, de Berlin. Recherches concernant l'action du magnétisme terrestre sur les courants électro-magnétiques mobiles, pour établir sa théorie de la polarité circulaire; T. LXXV, p. 269-341, 437.

JOURNAL

DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE,

DE SCHWEIGGER.

PREMIÈRE SÉRIE. 1811.

Sommering. Sur les télégraphes électriques ; T. II, p. 217 et 231. — Observations de Ritter à ce sujet.

Ritter. Résumé de son traité sur la pile galvanique et sur les instruments météorologiques; T. II, p. 265.

Schubler, de Stuggard. Détermination des périodes journalières de l'électricité atmosphérique ; T. III, p. 123.

Grotthuss. Des limites d'inflammation et de combustibilité des mélanges gazeux,

quand on diminue leur densité, et sur l'action de l'étincelle électrique de quelques-uns de ces mélanges; T. III, p. 129.

Schubler. Observations sur les périodes journalières de l'électricité atmosphérique; T. III, p. 128.

Schubler. Résultat de ses recherches relatives à l'influence de l'électricité sur la vie et la respiration; T. III, p. 292.

Pfaff, de Kiel. Sur le renversement des pôles dans la pile de Volta; T. III, p. 367.

Ruhland. De la précipitation des métaux au pôle négatif de la pile de Volta; T. III, p. 411.

Schonberg, de Copenhague. Magnétisme développé par la couleur violette du prisme; T. VI, p. 327.

Hansteen. Lettre à OErsted sur l'existence de quatre pôles magnétiques terrestres. Périodes de leurs mouvements. Magnétisme des corps célestes et des aurores boréales; T. VII, p. 79.

Lampadius. Sur la phosphorescence fugitive de la strontiane, de la potasse, et autres corps; T. VII, p. 251.

Schubler, de Stuggard. Sur les nouvelles piles électriques de M. Deluc, et sur leur emploi comme instrument météorologique; T. VII, p. 479.

Heinrich. Résumé des observations météorologiques, spécialement de celles qui ont rapport à l'électricité atmosphérique; T. VIII, p. 129.

Grotthuss. Recherches sur la propriété conductrice de quelques gaz pour la chaleur et l'électricité, et sur l'aimantation de quelques substances par la lumière; T. IX, p. 327.

Schubler. Recherches sur quelques phénomènes d'électricité atmosphérique dans les Alpes; T. IX, p. 347.

Pfaff. De la rotation des pôles magnétiques de la terre, et de leur influence sur la rotation des satellites et des planètes; T. X, p. 3.

Lampadius. Description d'une balance fort exacte et fort commode, qui sert en même temps de magnetomètre; T. X, p. 171.

Ruhland. Recherches électriques et magnétiques; T. XI, p. 16.

Schubler. Description des changements que l'on remarque dans l'électricité atmosphérique pendant les orages; T. XI, p 377.

T. Brandes. Nouvelles recherches électro-chimiques; T. XII, p. 67.

OErsted. Sur les attractions électriques; T. XII, p. 106.

Gehlen. Sur le système électrochimique; T. XII, p. 403.

Heinrich. Sur les phénomènes de la phosphorescence dans les plantes et les animaux; T. XIII, p. 266.

Grotthuss. Réflexions sur la phosphorescence; T. XIV, p. 133.

Schubler. Sur la pile sèche de Zamboni; T. XV, p. 111.

Schubler. Sur les variations que présente la pile de Zam-

boni par les variations de l'électricité atmosphérique ; T. XV, p. 126.

Schubler. Description de l'aurore boréale du 8 févr. 1817, et remarques sur les recherches électro-métriques faites à ce sujet; T. XIX, p. 1.

Schubler. Sur l'électrométrie en général; T. XIX, p. 20.

Steffens. Sur les proportions respectives de l'iode et du chlore au pôle positif de la pile de Volta ; T. XIX, p. 313.

Gantier. Observations adressées à Volta sur le retour périodique des orages; T. XX, p. 105.

Le comte Gaspard de Sternberg, à Prague. Sur l'aimantation par la lumière violette du spectre; T. XXI, p. 2.

OErsted, de Copenhague. Observations relatives au contact électrique; T. XXI, p. 205.

Hansteen. Recherches sur le magnétisme de la terre; T. XXI, p. 342.

Schubler. Observations sur les variations périodiques quotidiennes de l'aiguille aimantée; T. XXVIII, p. 305.

Heinrich. Sur la phosphorescence par les rayons solaires; T. XXIX, p. 109.

OErsted, de Copenhague. Nouvelles recherches électro-magnétiques; T. XXIX, p 364.

Heinrich. Sur la phosphorescence des corps par l'élévation de température ; T. XXIX, p. 450.

Van Marum. Sur la théorie des phénomènes électriques; T. XXIX, p. 475.

DEUXIÈME SÉRIE.

Schweigger. Quelques mots sur ses nouvelles découvertes électro-magnétiques ; T. I, p. 35.

T. Grotthuss. Deux nouveaux faits relatifs à l'électro-magnétisme; T. I, p. 492.

Seebeck. Recherches électro-magnétiques; T. II, p. 26.

Erman. Sur le même sujet ; T. II, p. 28.

Hansteen. Nouvelles découvertes magnétiques ; T. II, p. 130.

OErsted. Sur l'électro-magnétisme et le magnétisme terrestre; T. II, p. 199.

T. Grotthuss. Corrections relatives à l'électro-magnétisme de la tourmaline; T. II, p. 473.

Steinhnahauser. Sur la manière de faire les aimants d'acier artificiels; T. III, p. 21.

Ludersdorff. Effets de la pile de Volta sur l'alcool; T. III, p. 226.

Macquer. Sur quelques substances phosphorescentes; T. III, p. 256.

Pfaff. Sur la lumière des éclairs; T. V, p. 495.

Gmelin. Sur la coagulation de l'albumine par l'électricité ; T. VI, p. 217.

Seebeck. Sur le magnétisme des conducteurs galvaniques; T. VII, p. 21.

Tilesius. Des effets de l'éclair,

observés sur le corps de l'homme lors de la chute de la foudre; T. IX, p. 129.

Tilesius. De l'influence de l'éclair et des météores lumineux sur les végétaux; T. IX, p. 135.

Pfaff, de Kiel. Sur les découvertes que Dobereiner a faites touchant les propriétés remarquables de la poussière métallique de platine et des éponges de ce métal, et leur emploi dans les lampes nommées électriques, et les principes qu'on peut en déduire; T. X, p. 9.

Gmelin. Sur les effets de l'application de l'électricité de la pile à l'organisme. Application physiologique et médicale; T. XIII, p. 114 et 115.

Schweigger. Nouvelles observations et recherches électro-magnétiques; T. XIII, p. 374.

Berzelius, Wokler et Aschoff. Travaux faits sur la cristallisation. Parmi les diverses parties de ce travail, on trouve à la page 81 et à la page 83 l'influence de l'électricité et du magnétisme sur la cristallisation; T. XIV, p. 74.

Ohm, de Koln. Sur la conductibilité électrique des métaux; T. XIV, p. 245.

Schweigger. Observations électriques; T. XIV, p. 365.

Hansteen. Sur la situation du pôle magnétique de la terre; T. XV, p. 60.

Schweigger. Nouveau multiplicateur avec deux aiguilles aimantées; T. XV, p. 249.

Schweigger. Sur les nouveaux effets obtenus avec son multiplicateur; T. XV, p. 255.

Schweigger. Sur l'électro-magnétisme; T. XVI, p. 1. (Ce travail résume ses expériences et celles d'un grand nombre d'auteurs.)

Seebeck. Méthode nouvelle pour éprouver la pureté du platine, au moyen du thermo-magnétisme; T. XVI, p. 101.

Schweigger. Suite du travail cité précédemment; T. XVI, p. 129.

Pfaff, de Kiel. Sur l'électricité électro-chimique; T. XVIII, p. 190.

Pfaff, de Kiel. Sur l'électricité et le magnétisme; T. XVIII, p. 276.

Schweigger. Sur l'électro-magnétisme; T. XVIII, p. 289. (Ce travail contient, outre ses propres observations, celles de plusieurs autres auteurs.)

Hansteen. Sur l'intensité du magnétisme de la terre; T. XVIII, p. 373.

Schweigger. Sur les phénomènes électriques qui peuvent être observés dans la détonation des sels; T. XXI, p. 77.

Kupffer. Sur quelques travaux relatifs au magnétisme terrestre; T. XXI, p. 152.

Schweigger. Effets de magnétisme terrestre observés dans les tourbillons de vent, avec quelques observations de Steiglehner et de Humboldt; T. XXI, p. 171.

Schweigger. Observations adressées à Davy, sur les rapports des phénomènes électriques et des phénomènes

chimiques; T. XXII, p. 33.

Noggerath. Sur la polarité magnétique de deux rochers basaltiques, situés dans le voisinage de l'île de Nürburg; T. XXII, p. 221.

Schweigger. Observations sur les mouvements et la conductibilité électrique, et observations électro-magnétiques; T. XXII, p. 236.

Fechner. Sur le renversem. des pôles dans une simple chaîne électrique; T. XXIII, p. 61.

Pfaff. Sur l'influence des métaux servant à la pile pour augmenter sa puissance; T. XXIII, p. 395.

Fechner. Résumé des recherches galvaniques fondamentales; T. XXIII, p. 429.

Marx. Sur l'emploi et les effets du mercure dans la pile de Volta; T. XXIV, p. 205.

Ohm. Expériences pour estimer le pouvoir des multiplicateurs électro-magnetiques; T. XXV, p. 1.

Fechner, de Leipzig. Deuxième Mémoire sur les recherches galvaniques fondamentales; T. XXV, p. 223.

Schubler, de Tubingue. Sur les divers effets que présente la chute de l'électricité atmosphérique; T. XXV, p. 249.

Pfaff, de Kiel. Sur le pouvoir conducteur pour l'électricité de l'eau contenant en dissolution plusieurs acides, alcalis ou sels; T. XXV, p. 255.

Kemp. Recherches sur les propriétés électro-magnétiques du charbon dans sa combustion; T. XXV, p. 448.

Kumtz, de Halle. Sur l'électricité développée par le contact des substances animales et végétales entre elles et avec des sels; T. XXVI, p. 1.

Erdmann, de Leipzig. Recherches sur l'influence du magnétisme, dans plusieurs phénomènes chimiques et la cristallisation; T. XXVI, p. 24.

Gustave Wetzlar, de Hanau. Sur les effets électro-dynamiques obtenus par le mélange du fer, de l'acier ou de l'argent, avec l'acide nitrique ou l'ammoniaque liquide; T. XXVI, p. 206.

Fechner. Observations sur le galvanisme et les courants thermo-électriques; T. XXVII, p. 1.

Fechner. Second travail sur le même sujet; T. XXVII, p. 291.

Gustave Wetzlar, de Hanau. Sur les effets électro-magnétiques de masses métalliques homogènes employées et exerçant un contact inégal dans les opérations chimiques sur les fluides; T. XXVIII, p. 302.

Kemp. Sur une nouvelle manière d'employer le galvanisme; T. XXVIII, p. 438.

Ohm. Recherches pour fixer la nature des échelles unipolaires; T. XXIX, p. 385.

TROISIÈME SÉRIE.

Pfaff, de Kiel. Sur l'état électrique d'un conducteur isolé; T. I, p. 393.

Ohm. Sur les courants hydro-électriques; T. III, p. 385.

Ohm. Exposé de faits détruisant

les rapports que l'on avait établis confusément entre quelques propriétés galvaniques, et particulièrement les conducteurs hydro-électriques ; T. VI, p. 21, 138, 257.

Fechner. Sur l'aimantation de cercles d'acier fermés ; T. VII, p. 99.

Ohm et Fechner. Théorie des chaînes galvaniques ; T. VII, p. 127, 311.

POGGENDORF.

Hansteen. Observations sur l'intensité du magnétisme, observée dans le nord de l'Europe, à Copenhague, Berlin, Paris, Londres, etc. ; T. III, p. 225, 253.

Egen. Sur la puissance de répulsion des forces électriques ; T. V, p. 199, 281.

Seebeck. Sur la polarisation magnétique des métaux et des minéraux par la différence de température ; T. VI, p. 1, 133.

Seebeck. De la différence des métaux, de la faculté qu'ils ont de laisser développer le magnétisme ; T. VII, p. 203.

Hansteen. Sur les lignes magnétiques isodynamiques ; T. IX, p. 49.

Riese. Détermination de la déclinaison de l'aiguille aimantée, au moyen de miroirs ; T. IX, p. 65.

Hansteen. Observations sur l'intensité magnétique selon les diverses températures, et sur l'influence des aurores boréales sur l'aiguille aimantée ; T. IX, p. 161.

Hansteen. Deuxième Mémoire sur les lignes isodynamiques ; T. IX, 229.

Seebeck. Observations sur les travaux de MM. Barlow et Bonnycastle, relatifs à l'attraction de l'aiguille aimantée par le fer rouge ; T. X, p. 47.

Seebeck. Sur la polarisation magnétique de quelques métaux, de différents alliages, et de quelques oxides placés entre les pôles de deux barreaux aimantés puissants ; T. X, p. 203.

Kupffer. Recherches sur les variations de l'aiguille aimantée dans la position horizontale et mise en oscillations à Kasan, et sur quelques autres points relatifs au magnétisme terrestre ; T. X, p. 545.

Kupffer. Recherches sur la distribution du magnétisme dans les barreaux aimantés ; T. XII, p. 121.

Seebeck. Deuxième Mémoire sur les facultés diverses des métaux, pour développer le magnétisme ; T. XII, p. 352.

Kupffer. Sur les variations diurnes irrégulières de l'aiguille aimantée ; T. XVI, p. 131.

Erman, de Berlin. Supplément à son Voyage de Russie. Ce travail a pour objet de mesurer la direction de la puissance et du pouvoir du magnétisme terrestre ; T. XVII, p. 328.

Ludwig, Moser et Peter Riess.

De l'influence de l'eau sur le magnétisme; T. XVII, p. 403.

Ideler. Sur la grêle et les phénomènes électriques de notre atmosphère; T. XVII, p. 435.

Reich. Observations sur les variations diurnes de l'intensité du pouvoir magnétique dans la position horizontale; T. XVIII, p. 57.

Moser et Riess. Sur la mesure de la puissance magnétique du tellure; T. XVIII, p. 226.

Alex. de Humboldt. Observations sur l'inclinaison de l'aiguille aimantée, faites dans ses voyages aux monts Ourals, à l'Altaï et dans la mer Caspienne; T. XVIII, p. 335.

Kupffer. Notice sur l'aurore boréale observée à Saint-Pétersbourg; T. XVIII, p. 611.

Ludersdorff. Etat de l'éther par le contact électrique; T. XIX, p. 77.

Riess et Moser. Sur les variations quotidiennes du pouvoir magnétique, et emploi de la méthode de M. Poisson pour mesurer l'intensité du magnétisme terrestre; T. XIX, p. 161.

Muncke. Observations thermo-électriques; T. XX, p. 417.

Moser. Sur une nouvelle méthode pour mesurer le pouvoir magnétique du tellure, et sur son application; T. XX, p. 431.

Erman. Sur la forme des lignes isogones, isodynamiques, etc.; T. XXI, p. 119.

Hansteen. Fragments de ses observations sur les variations du magnétisme terrestre, et spécialement sur les variations quotidiennes; T. XXI, p. 361.

Kupffer. Sur la déclinaison magnétique à St.-Pétersbourg, et sur les variations quotidiennes et mensuelles; T. XXIII, p. 449.

Erman. Observations de la déclinaison, de l'inclinaison et de l'intensité du magnétisme à Berlin; T. XXIII, p. 485 et 487.

Peter Riess. Observations sur l'inclinaison magnétique dans un même lieu; T. XXIV, p. 193.

Kupffer. Deuxième Mémoire sur les inclinaisons magnétiques à Saint-Pétersbourg; T. XXV, p. 193.

Kupffer. Inclinaison et déclinaison observées à Pékin; T. XXV, p. 220.

Moser. Appréciation de la puissance absolue du magnétisme; T. XXV, p. 228.

Kupffer. Sur les inclinaisons magnétiques à Saint-Pétersbourg; T. XXV, p. 455.

Erman. Sur les propriétés électriques de la tourmaline et des topazes du Brésil; T. XXV, p. 607.

Runberg. Sur l'intensité relative du magnétisme terrestre à Paris, Bruxelles, Gœttingue, Berlin et Stockholm, pendant l'année 1832; T. XXVII, p. 5.

Erman, de Berlin. Sur l'électromagnétisme; T. XXVI, p. 471.

Hansteen. Carte des lignes isodynamiques; 28e volume.

DE

L'ÉLECTRO-DYNAMIQUE.

SUITE DU

LIVRE III.

CHAPITRE IV.

DE L'ACTION DE LA TERRE SUR LES COURANTS MOBILES.

§ Ier. *De l'action de la terre sur des courants mobiles rectilignes.*

298. Les sciences physiques et chimiques ont pris une telle extension depuis la fin du 18e siècle, que quiconque voudra donner un tableau complet des connaissances qu'elles renferment, de manière à pouvoir embrasser aisément leur ensemble, devra exposer les faits avec une certaine concision et éviter les développements d'un intérêt secondaire, qui seront relégués dans les mémoires spéciaux ; mais si d'un côté on élague des détails accessoires, on doit s'attacher, de l'autre, à donner une idée nette des méthodes expérimentales employées, et surtout de la marche philosophique suivie par chaque auteur. On doit également ne pas perdre de vue un seul instant, que le but des recherches scientifiques est de découvrir des faits, pour arriver à des lois, afin de remonter ensuite autant qu'il est possible aux causes premières des phénomènes, ou du moins, à des principes

plus simples que ceux qui sont connus. C'est la marche que nous avons essayé de suivre dans cet ouvrage.

Nous avons pensé que cette digression était nécessaire avant de continuer l'exposé des phénomènes électro-dynamiques, qui, à eux seuls, forment déja une science importante; les observations sont tellement multipliées, que si, dans un traité de l'électricité et du magnétisme, on ne s'en tenait pas au plan que nous venons de tracer, on lui donnerait trop d'étendue.

La partie de l'électro-dynamique, dont nous allons nous occuper actuellement, a été exposée avec soin dans un ouvrage spécial de M. de Montferrand, qui a pour titre : *Manuel d'électricité dynamique*, et dans les traités de physique de MM. Despretz, Pouillet et Péclet; nous avons dû, par conséquent, les consulter quelquefois, en nous conformant néanmoins au plan que nous avons suivi jusqu'ici. Mais c'est surtout dans les Mémoires de M. Ampère, fondateur de l'électro-dynamique, que nous avons puisé la plupart des documents que nous allons présenter.

299. Dès l'instant que l'on eut découvert l'action des courants rectilignes sur les aimants librement suspendus, on dut en conclure que si l'on rendait mobiles les circuits parcourus par l'électricité, en maintenant dans une position fixe les aimants, ces circuits prendraient une nouvelle position d'équilibre dépendante de la position des aimants. On dut prévoir également que les courants mobiles devaient exercer des actions mutuelles les uns sur les autres. Les expériences destinées à mettre en évidence ces actions, furent faites pour la première fois par M. Ampère, qui imagina, à cette occasion, un mode ingénieux de suspension qu'il a appliqué à tous les courants mobiles, et sans lequel il n'eût pu étudier convenablement la plupart des phénomènes électro-dynamiques qu'il a découverts. Le globe terrestre se comportant comme un aimant, par rapport aux corps doués de magnétisme, doit exercer aussi sur les courants la même influence; il est donc naturel de rechercher d'abord

quelle est cette influence, si l'on veut séparer l'action terrestre de celle de l'aimant et dégager l'action des courants les uns sur les autres de l'influence terrestre.

300. Voici la manière la plus simple pour observer l'action du magnétisme terrestre sur un circuit électrodynamique librement suspendu :

ABCD (fig. 1.) représente une pièce rectangulaire en bois, sur laquelle on pratique deux petites rainures *ab*, *cd*, d'un demi-pouce de profondeur, que l'on remplit de mercure. OM est un long fil de soie fixé par son extrémité supérieure, et à l'autre extrémité duquel est attaché un fil de cuivre recourbé KMN; les points K et N plongent légèrement dans le mercure. Aussitôt que l'on met en communication cet appareil avec une pile, en plongeant les deux fils extrêmes dans les coupes vv' qui sont en relation avec le mercure des rainures, la partie mobile KMN du circuit se jette du côté de AB ou de CD, suivant le sens du courant; en changeant sa direction, le fil est chassé de l'autre côté. Cette action ne peut être attribuée qu'à l'influence terrestre, puisqu'on obtient le même effet, mais d'une manière plus marquée, en plaçant sous la tablette un fort aimant dans la direction de l'aiguille d'inclinaison, le pôle boréal de l'aimant dirigé en bas.

301. Pour déterminer au juste la position du circuit mobile, on emploie un rectangle de laiton ABCD (fig. 2), dont on comprendra facilement la construction en suivant la route du courant indiquée par des flèches; le courant passe de V en S, puis à travers un pivot d'acier K placé sur une plaque métallique N; de là il traverse le rectangle ABCD, d'où, passant par le tube XY qui sert d'axe, il est porté, au moyen d'un second pivot d'acier, à l'autre extrémité vers R. L'appareil est placé à angle droit avec le méridien magnétique; on met ensuite un peu de mercure sur les plaques M, N, pour mieux établir leur contact avec les pivots; le losange ZW est en bois léger, et sert à placer le rectangle dans une position convenable.

A l'instant où la communication avec la pile est établie, le conducteur mobile se met à osciller et se place dans le plan de l'équateur magnétique ou de non attraction, qui est perpendiculaire à la direction de l'aiguille d'inclinaison.

302. Nous devons (1) à M. Auguste Delarive la détermination de l'action que le globe terrestre exerce sur une portion mobile du circuit voltaïque; l'appareil (fig. 3) dont cet habile physicien a fait usage se compose de deux plateaux de bois ABCD, *abcd*, placés l'un au-dessus de l'autre. A leur bord est creusée une rainure destinée à recevoir du mercure; chacune de ces rainures est séparée en deux compartiments égaux, par deux cloisons A et C, *a* et *c*, qui sont situées deux à deux sur le même diamètre, et dans le plan vertical qui passe par la partie horizontale FG du pied solide EFGH. Ces compartiments peuvent s'adapter ou se supprimer à volonté. Au centre O du plateau supérieur est un écrou enfoncé de 7 ou 8 millimètres au-dessous de sa surface, et auquel on peut visser, suivant le besoin, une pointe *x* ou un godet *y*. Cet écrou est adapté à l'extrémité du conducteur OIKLM, qui aboutit à une capsule remplie de mercure. Ce même conducteur est interrompu en L, afin de pouvoir incliner le plateau supérieur au moyen d'une charnière placée en F, quand on veut verser le mercure du canal supérieur *abcd*. Un autre conducteur, partant en P du canal supérieur, redescend le long du pied, et vient aboutir dans une capsule N également remplie de mercure. Les deux compartiments du plateau inférieur communiquent au moyen de lames de platine recourbées, avec deux capsules V, W. Les quatre capsules MNVW sont destinées à établir la communication de l'appareil avec une pile. On doit toujours avoir l'attention de placer l'appareil de

(1) Recueil d'observations électro-dynamiques; Ampère, p. 262.

manière que le plan vertical, qui passe par les quatre cloisons, ne se trouve jamais être celui du méridien ou de l'équateur magnétique, afin de pouvoir observer sans obstacle les directions du sud au nord et de l'est à l'ouest.

On suspend d'abord sur le godet *y* placé en *o* le conducteur en laiton *fghik* (fig. 4), terminé par deux fils de platine *fe*, *kl*, qui plongent légèrement dans chacun des compartiments AB, CD. Aussitôt que la communication avec la pile est établie, le fil de laiton oscille quelques instants et se place perpendiculairement au méridien magnétique, dans un sens qui dépend de la direction du courant.

Pour reconnaître les parties de l'appareil dont l'action imprime la direction au rectangle, et celles qui n'exercent aucune influence, il faut enlever successivement au rectangle ses côtés les uns après les autres. Dans l'expérience précédente, la partie inférieure n'existait déja plus. Supprimons maintenant la partie supérieure : pour cela on joint les deux extrémités *n* et *t* (fig. 5), au moyen d'un tube de verre *nt*. Ce nouveau rectangle est suspendu en équilibre sur la capsule *y*, et la communication établie avec les compartiments du plateau supérieur à l'aide de deux fils de platine *npq*, *trs*, recourbés de quelques millimètres. Quant à la communication avec les compartiments inférieurs, elle se fait comme dans l'expérience précédente; le circuit se place encore de même.

Ces expériences montrent que les courants horizontaux sont sans influence sur le phénomène, puisque le rectangle prend la même direction que l'appareil semblable dans l'expérience précédente. On voit donc que le plan de deux fils verticaux, qui peuvent tourner autour d'un axe commun, se place perpendiculairement au méridien magnétique lorsque ces fils sont traversés chacun par un courant dirigé en sens contraire. Ce plan se fixe dans une position telle, que le courant est ascendant dans le fil à l'ouest, et descendant dans celui à l'est; en inter-

vertissant le sens du courant, l'appareil quitte sa place pour venir s'appuyer contre les cloisons qui l'empêchent de décrire 180 degrés, pour se placer dans sa nouvelle position d'équilibre.

303. On tire de là la conséquence, qu'un fil vertical doit se placer à l'est lorsque le courant est descendant, et à l'ouest lorsqu'il est ascendant. Pour le montrer, on substitue dans l'appareil fig. 5 *bis*, à l'une des branches verticales, un contre-poids *s*, destiné à maintenir l'équilibre dans le système. En réunissant alors en un seul canal circulaire les deux compartiments inférieurs, ainsi que les deux compartiments supérieurs par la suppression d'une des cloisons, cette disposition permet à la branche verticale de décrire une circonférence de cercle presque entière; la communication est établie, d'une part, avec l'une des capsules V ou W, et de l'autre avec la capsule N.

On voit aussitôt le plan de l'appareil se diriger dans le plan perpendiculaire au méridien magnétique, et s'y arrêter à l'est si son courant est descendant, à l'ouest s'il est ascendant. Dans cette expérience, l'action du globe ne s'exerce que sur un seul courant rectiligne vertical. Ce fait explique pourquoi, lorsque le courant voltaïque parcourt, dans le même sens, les deux branches verticales de l'appareil, celui-ci ne prend aucun mouvement, puisque les deux portions du courant tendent à la fois toutes les deux à l'est ou à l'ouest.

M. Delarive s'est servi d'un appareil plus commode que le précédent, pour déterminer l'espèce d'action qu'exerce la terre sur un courant vertical. Un godet en bois *hi* (fig. 6) est placé au centre d'un plateau de bois, soutenu par trois vis *m n p;* du centre de ce godet part un tube de verre, qui contient une tige métallique sortant du tube, et qui se termine supérieurement par un godet en acier. Un fil de laiton portant une pointe en *d*, qui plonge dans le godet, se termine d'un côté par un contre-poids, et de l'autre se plie en *defg*, jusqu'en *g*, où se trouve un anneau libre de se

tourner autour d'un tube de verre, et auquel est fixée une pointe de platine verticale, qui plonge dans le godet de bois. Deux conducteurs *ba*, *kl*, partent, l'un de l'extrémité inférieure de la tige verticale, l'autre, de l'intérieur du godet *hi*. Tous les godets sont remplis de mercure, puis la communication est établie entre les capsules *a* et *l* et la pile. Il est facile de se rendre compte de la route suivie par le courant dans le circuit, lequel se place toujours conformément à la loi que nous avons donnée précédemment.

Nous avons encore à étudier l'action que le globe exerce sur un courant horizontal.

304. M. Ampère avait reconnu (1), avant le travail de M. Delarive, qu'un fil horizontal mobile qui ne peut se mouvoir que parallèlement à lui-même, s'avance, tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, suivant la direction du courant.

M. Faraday (2) avait observé aussi de son côté, qu'en suspendant à un fil de soie très-long un fil métallique horizontal, dont les deux extrémités recourbées légèrement plongent chacune dans un bain de mercure, ce fil, quand il se trouve dans le circuit voltaïque, s'avance comme s'il était tiré par des forces parallèles et égales, dans toute sa longueur, et cela quelle que soit la direction du conducteur horizontal. En soumettant à l'action de la terre un courant horizontal, qui ne peut se mouvoir que parallèlement à lui-même, ce courant est jeté dans notre hémisphère à gauche d'un observateur placé comme nous l'avons déja dit. On vérifie ce fait de la manière suivante. On prend un conducteur *xaby* (fig. 7) formé d'un fil de cuivre *dabc*, dont les bouts sont enroulés sur un tube de verre *cd*, et qui sont terminés par deux pointes *x*, *y*, que l'on place dans deux petites coupes remplies de mercure, en commu-

(1) Annal. de Phys. et de Ch., t. xv, p. 163.
(2) Quarterly Journal of Science and Arts, vol. III, p. 416.

nication chacune avec l'une des extrémités d'une pile. Les deux coupes se trouvent sur une ligne droite horizontale, et la tendance que possède le conducteur à rester par son propre poids, dans un plan vertical, est diminuée par l'action d'un contre-poids, qui rend par là plus sensible l'action exercée par la terre sur le courant, laquelle tend à l'écarter de ce plan. Quand le courant entre par la pointe x et sort par la pointe y, il suit la direction $xaby$; dans ce cas, l'action exercée par la terre sur les deux branches verticales se détruit, puisque les courants cheminent en sens inverse; s'il y a un effet de produit, on doit l'attribuer à l'action sur la branche horizontale. Or, quand on complète le circuit, la branche ab est toujours portée à gauche du courant avec la même force, quel que soit l'azimuth dans lequel on place l'appareil. Si le courant va de l'ouest à l'est, il est repoussé vers le nord. Il résulte de là qu'un courant horizontal ne pouvant que tourner autour d'un point de suspension, fixé au milieu de sa longueur, ne peut prendre aucun mouvement, puisque ce point de suspension résiste aux forces parallèles qui tirent le courant dans le même sens; c'est ce que confirme effectivement l'expérience. Mais si le point fixe, au lieu d'être placé au milieu du courant, est mis au bout, alors le fil conducteur, tiré par des forces parallèles, tourne autour du point fixe, d'où résulte un mouvement de rotation continu, puisque ces forces se renouvellent à chaque position du fil. Pour l'instant, nous ne nous occuperons pas de ce mouvement.

305. M. Ampère, qui a varié beaucoup la construction des appareils électro-dynamiques, a adopté en définitive la disposition suivante, qui permet d'observer non-seulement l'action de la terre sur les courants, mais encore celle des courants sur les courants dont nous nous occuperons plus loin.

Deux colonnes verticales en cuivre $v\,v'$ (fig. 8) sont fixées sur une table TT'; leurs extrémités supérieures sont recourbées à angle droit, et aboutissent à deux

petites coupes yy' dont les centres se trouvent sur la même verticale. Les branches horizontales de ces colonnes sont séparées l'une de l'autre par de la gomme laque ou autre substance isolante. Si l'on met en communication le pied de chaque colonne avec l'un des pôles d'une pile, il n'y aura courant qu'autant que les deux coupes communiqueront métalliquement entre elles. Pour remplir cette condition, M. Ampère emploie un fil de cuivre plié en rectangle (fig. 9), dont les extrémités sont terminées par des pointes d'acier; l'une de ces pointes repose sur une lame de verre légèrement évidée, placée au fond de l'une des capsules qui est remplie de mercure, et l'autre plonge seulement dans la seconde, où se trouve aussi du mercure. Le circuit ainsi suspendu a une mobilité suffisante pour obéir à l'action du magnétisme terrestre; lorsque la communication est établie avec la pile, il tourne, oscille, et se met dans la position perpendiculaire au plan du méridien magnétique pour y revenir si on l'en écarte. En changeant la direction du courant, le circuit se retourne pour se replacer dans le même plan. Nous allons indiquer actuellement comment on établit la communication de l'appareil avec la pile. A cet effet, M. Ampère a imaginé une disposition très-ingénieuse, qui permet de supprimer ou de renverser à volonté le courant, au moyen d'un changement facile à exécuter (fig. 10). On pratique dans la table TT, deux rainures RR', de quelques lignes de profondeur, et quatre cavités semblables vv' tt', communiquant diagonalement par des lames de cuivre ll' mm', qui sont séparées au point de croisement par une substance isolante. Ces cavités et les deux rainures, après avoir été mastiquées pour que le bois humide ne puisse pas donner issue à une partie des courants, sont remplies de mercure. Maintenant si l'on plonge le fil positif de la pile dans la rainure R et le fil négatif dans la rainure R', le courant n'aura pas lieu tant que l'on n'établira pas une communication métallique entre chacune des deux rainures et l'une des cavités. L'inspec-

tion seule de la figure indique les deux combinaisons que l'on puisse faire à cet égard. Soient bb' deux lames de platine destinées à transmettre le courant dans l'appareil électro-dynamique; la lame b peut devenir positive ou négative suivant que la cavité R communique avec t, et R' avec t', ou bien quand R communique avec v, et R' avec v'. Dans le premier cas, le courant suit la direction $Rt, bb', t'R'$; dans le second, il va de R en v, puis traverse la lame ll', et ensuite va de b' en bt et de v' en R'. Or rien n'est plus simple que d'établir ou d'interrompre successivement toutes ces communications, au moyen d'une bascule BB' en bois qui peut tourner autour d'un axe aa' s'ajustant dans des trous oo'; on adapte sur cette bascule quatre arcs conducteurs en métal bb', dd'; en l'élevant ou en l'abaissant convenablement, on change les communications; quand les arcs b et b' sont abaissés, R et v communiquent par l'intermédiaire de rbc, et R' avec v', au moyen de $r'b'c'$. Quand les arcs d et d' sont, au contraire, abaissés, la communication est établie entre R et t, et R' et t', par l'intermédiaire des arcs.

Au moyen de cette adjonction, l'appareil (fig. 8) se trouve constitué de manière à pouvoir fonctionner dans une foule de cas. Dès l'instant que l'on met en communication R et R' avec les pôles d'une pile, le courant monte par la colonne V, traverse le circuit figure circulaire 9 *bis* et redescend par l'autre colonne; le circuit, après quelques oscillations, se met dans une position perpendiculaire au plan du méridien magnétique, comme nous l'avons reconnu précédemment.

306. Nous sommes à même maintenant de former un système sur lequel la terre n'exerce aucune action; il suffit de disposer des fils d'une manière symétrique de chaque côté de l'axe de rotation, afin d'avoir, dans chaque moitié, des courants dirigés dans le même sens. La figure 11 représente un rectangle qui est dans ce cas : le courant entre par y, suit la direction $mh'v'$, remonte dans la tige verticale x, passe dans la tige

horizontale supérieure h, redescend par la branche verticale v, puis remonte en x' pour sortir par la pointe y'. On appelle *astatiques*, comme nous l'avons déja dit, les appareils de ce genre qui n'éprouvent aucune action de la part du globe terrestre.

§ II. *Action de la terre sur les conducteurs fermés quelconques.*

307. Dans un conducteur rectiligne fermé $abcd$ (fig. 9), il est bien évident que les deux branches verticales ad, bc concourent seules au mouvement que lui imprime la terre, puisque dans les branches horizontales les courants étant dirigés en sens contraires, les actions de la terre sont égales et de signe contraire. Passons au conducteur courbe fermé, mobile autour d'un axe vertical.

Ce courant se dirige encore dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique. Ce résultat est une conséquence directe de l'action exercée par la terre sur les courants verticaux. En effet, on peut, par la pensée, décomposer chacun de ses éléments en deux parties, l'une horizontale, l'autre verticale, très-rapprochées. Supposons pour l'instant que l'on substitue à chaque élément ses deux composantes; substitution qui est permise, d'après un théorème que nous démontrerons quand nous traiterons de l'action des courants les uns sur les autres. Les parties horizontales tendront à produire un mouvement de rotation, soit dans un sens, soit dans un autre, suivant leur direction. Mais comme la somme des éléments parcourus dans un sens est égale à la somme des éléments horizontaux parcourus en sens contraire, il y aura équilibre dans cette partie du système; quant aux courants verticaux, ils prendront tous une position fixe d'équilibre à l'est quand ils sont descendants, à l'ouest quand ils sont ascendants.

308. Nous avons considéré le cas où la courbe peut tourner autour d'un axe vertical qui la partage en deux; nous

avons maintenant à examiner celui où la courbe tourne autour d'un axe qui la laisse toute d'un même côté : alors la branche verticale qui est la plus éloignée détermine le mouvement de rotation, puisqu'elle agit alors par un plus grand bras de levier que l'autre. Si le courant dans cette branche est ascendant, le système se transporte à l'ouest de l'axe de rotation ; s'il est descendant, il se transporte au contraire à l'est. Pour observer ces effets, il faut augmenter l'influence terrestre sur les conducteurs soumis à l'expérience ; on y parvient en employant une spirale, dont chaque tour représente une courbe fermée. Les figures 12 et 13 représentent des doubles spirales, disposées de manière à pouvoir tourner dans le même sens par l'action de la terre : les diverses circonvolutions du fil indiquent suffisamment la direction du courant dans ces spires, pour que nous nous dispensions de la décrire avec des lettres.

Dans le premier conducteur, l'axe est pris dans le plan commun des deux spirales ; dans le second, il est situé en dehors. Ces conducteurs sont suspendus en équilibre par les pointes yy', dans les capsules de l'appareil figure 8, quand la communication est établie avec la pile, le premier (fig. 12) se place dans le plan perpendiculaire au méridien magnétique, et le second dans le plan méridien magnétique. Ces deux effets résultent de l'action qu'exerce la terre sur un conducteur fermé.

309. Au lieu de spirales, on peut employer un fil conducteur roulé en hélice comme dans la fig. 14, de manière que chaque spire agisse comme un cercle perpendiculaire à l'axe du cylindre. Cet appareil ingénieux, que nous devons à M. Ampère, a été appelé par lui *cylindre électro-dynamique*. Il se dirige par l'action de la terre, comme le fait un aimant.

Nous appellerons dorénavant, comme dans un aimant, *pôle boréal* celui qui est situé à droite des courants de l'hélice, et qui se dirige par conséquent vers le sud, et *pôle austral* celui qui est à gauche des courants de l'hélice, et qui regarde le nord. Le cylindre électro-

dynamique n'est qu'un cas particulier du solénoïde, nom sous lequel M. Ampère désigne un système de petits courants fermés, égaux et équidistants, dont les plans sont normaux à une ligne donnée quelconque, droite ou courbe. Voici la méthode qu'il a donnée pour construire un solénoïde sur un axe donné AB (fig. 15). On divise cet axe en parties égales, puis, par les points de division, on mène des plans normaux à la courbe, et l'on trace dans chaque plan autour duquel il coupe l'axe, une petite courbe fermée, constante, telle qu'un petit cercle dont le point serait le centre. Pour réaliser cette construction, on opère de la manière suivante : on forme un cercle *abc* (fig. 16) avec un fil de cuivre recouvert de soie, puis l'on tire avec le même fil une droite *cd* perpendiculaire à son axe, et l'on décrit un nouveau cercle *def* d'un même rayon, ainsi qu'une nouvelle droite *fg* dans le prolongement de l'autre, et ainsi de suite jusqu'à l'extrémité A, où l'on fait revenir le fil en ligne droite dans la direction AB parallèle à *cd*, *fg*, mais dirigé en sens contraire. On doit avoir l'attention que le fil AB soit le plus rapproché possible des petits fils *cd*, *fg*, etc. On voit sur-le-champ que, lorsque l'on fait passer un courant dans un tel système, les effets des portions *cd*, *fg*, etc., sont détruits par les effets égaux du fil AB qui sont placés en sens contraire; il ne reste plus que les cercles *abc*, *def*, etc., qui sont tous tracés dans des plans perpendiculaires à l'axe.

M. Delarive père a imaginé une expérience très-simple pour reconnaître l'action du globe terrestre sur un circuit mobile fermé parcouru par un faible courant. On prend une lame de cuivre et une lame de zinc, que l'on soude par un de leurs bouts et auxquelles on donne une forme quelconque (fig. 17). Les deux bouts libres *z* et *c* passent dans un morceau de liége, suffisamment large pour que le système puisse se soutenir en équilibre sur de l'eau acidulée, où viennent plonger ces bouts à l'instant de l'immersion; l'appareil se dirige par l'action de la terre, comme il a été dit précédemment.

Nous avions d'abord pensé à exposer, après les phénomènes relatifs à l'action que le globe terrestre exerce sur les courants mobiles, les phénomènes concernant l'action des aimants sur les mêmes courants; mais la dépendance qui existe entre les aimants et les circuits pliés en hélice est telle que nous avons préféré d'abord présenter l'action des courants les uns sur les autres.

CHAPITRE V.

DE L'ACTION DES COURANTS LES UNS SUR LES AUTRES.

§ 1er. *Principes généraux.*

310. L'action des courants les uns sur les autres a été observée pour la première fois par M. Ampère, peu de temps après la découverte de l'action d'un courant sur l'aiguille aimantée; il en a déduit une théorie mathématique, à l'aide de laquelle il a établi l'identité entre les phénomènes magnétiques et les phénomènes électro-dynamiques. Nous allons faire connaître successivement tous les faits dont il a enrichi la science.

Nous devons distinguer dans l'action des courants plusieurs cas, suivant que ces courants sont dirigés parallèlement dans le même sens ou dans des sens contraires, ou bien qu'ils cheminent dans des directions obliques.

Étudions les différentes actions qui en résultent, en nous servant d'abord des appareils les plus simples, et ensuite d'appareils plus composés, qui permettent d'observer les faits dans tous les cas. Commençons par les courants parallèles.

AB est une tablette rectangulaire en bois (fig. 18), sur laquelle sont fixées deux colonnes également en bois, portant chacune à leur sommet un petit plateau percé de deux trous destinés à recevoir les coupes mn, $m'n'$ qui renferment du mercure, servant à établir la communication entre la pile et des fils soudés à ces coupes, et

terminés en pointes très-fines. Des fils $waa'w'$, $vbb'v'$, courbés comme l'indique la figure, sont percés en a, a', b, b', d'ouvertures par lesquelles on peut les suspendre librement sur les pointes des fils m, m', n, n'. Les fils conducteurs de la batterie qui se divisent chacun, à une de leurs extrémités, en deux parties z, z' et c, c', sont mis en communication avec les coupes. Si l'on veut deux courants dirigés dans le même sens, les fils z et z' plongeront dans les coupes mn, et les fils c et c' dans les coupes $m'n'$; si l'on veut, au contraire, des courants dirigés en sens inverse, on entre-croisera les fils z, z', c et c', c'est-à-dire que z plongera dans m, z' dans n', c' dans m' et c dans n. Dans le premier cas, les deux fils s'attireront; dans le second, ils se repousseront. Nous concluons de là que deux courants parallèles, dirigés dans le même sens, s'attirent l'un l'autre, et se repoussent, au contraire, quand ils cheminent dans des directions opposées.

311. M. Ampère a imaginé un autre appareil, dont le corps principal (fig. 19) renferme les parties suivantes : une tablette TT', sur laquelle sont fixées deux colonnes verticales en cuivre VV', réunies au moyen de deux tiges horizontales th, th' également en cuivre, qui viennent s'adapter dans un petit cylindre d'ivoire hh', qui s'oppose à la libre circulation du fluide électrique d'une colonne dans l'autre; deux petites coupes mm', placées dans la verticale qui passe par le milieu de LL'.

Quatre autres coupes d, d', g, g'' placées, deux à droite, deux à gauche.

Un petit cylindre $m'i'$ en métal, qui porte la coupe m', se divise en i' en deux branches, terminées l'une par la coupe supérieure d', l'autre, par la coupe inférieure g'. Un autre cylindre creux mi, portant la coupe m, est séparé de la première tige au moyen d'un tube de verre, et se divise également en deux branches qui correspondent aux coupes d et g.

Des petites lamelles ll' de cuivre, flexibles, qui com-

muniquent avec les colonnes V V′, et peuvent plonger à volonté dans les coupes *m′* et *m*.

Des bascules B B′, destinées à changer la direction des courants.

Des bandes *b* et *b′*, qui établissent la communication avec deux petites cavités *oo′* remplies de mercure.

Les accessoires de cet appareil sont des pièces de diverses formes, que le courant doit traverser.

Veut-on démontrer que les courants parallèles qui vont dans le même sens s'attirent, et qu'ils se repoussent, au contraire, quand ils cheminent dans des sens différents, on suspend en équilibre dans les coupes *gg′* le rectangle (fig. 11) sur lequel la terre n'a aucune action, et l'on pose le rectangle (fig. 21) sur la tablette T′T, les extrémités *zz′* dans les cavités *oo′*. Quand la communication avec la pile est établie, le courant monte par la colonne V, se rend dans le rectangle suspendu en passant successivement par *l*, *m′* et la coupe *g′ ;* il se trouve ascendant dans les deux côtés latéraux extrêmes, et descendant dans les deux côtés du milieu.

Il revient ainsi dans la coupe *g ;* de là il passe en *m* et *l′*, redescend par la colonne V′ et arrive à la bascule B, entre dans la bande *b*, passe dans la cavité *o*, et prend le côté vertical du rectangle fixe; puis, après avoir monté et traversé les différents circuits, il revient dans la cavité *o′*, d'où il passe en *b′*, puis en *c*, pour aller dans la bascule B′, où il rejoint l'autre extrémité de la pile.

Or, la branche verticale Z du rectangle fixe et les branches latérales du rectangle mobile, qui sont traversées par des courants parallèles et ascendants, s'attirent plus ou moins fortement, quelle que soit la position primitive du rectangle mobile.

Pour démontrer l'action des courants parallèles qui cheminent en sens inverse, il suffit de tourner les bascules, sans rien changer à l'appareil. Si l'on veut rendre le courant descendant dans le rectangle mobile et ascendant dans la branche Z, on maintient la bascule B′

pour que le courant entre par C, et l'on tourne seulement la bascule B pour la faire plonger en arrière. On trouve alors que le rectangle mobile s'éloigne de la branche Z; ainsi, les courants parallèles dirigés dans des sens différents se repoussent.

312. Quand des courants rectilignes forment un angle, ils tendent à se rapprocher s'ils vont dans le même sens, et à s'éloigner s'ils vont en sens contraire. Pour démontrer cette proposition, on place dans l'appareil (fig. 19) deux rectangles (fig. 20 et 21), l'un fixe et l'autre astatique et mobile. Le circuit mobile est suspendu dans les coupes gg', par le moyen de deux pointes yy', et le rectangle fixe, qui est formé d'un fil de cuivre, enroulé plusieurs fois sur lui-même afin d'avoir une action plus forte, est placé sur la tablette TT', comme dans l'expérience précédente.

Dès l'instant que les deux rectangles sont parcourus par des courants d'une manière quelconque, celui qui est mobile, lorsqu'on lui a donné une position quelconque, tourne autour de son axe et vient se placer dans une direction parallèle telle, que les courants marchent dans le même sens. Si donc les deux branches ab et cd forment un angle quelconque, et qu'elles soient parcourues par des courants cheminant en sens contraire, la branche cd sera chassée, et si les courants sont dans le même sens, elle sera attirée. M. Ampère a défini ainsi la loi qui régit ces actions : « Deux portions de cou-« rants s'attirent, quand elles vont l'une et l'autre en « s'approchant ou en s'éloignant du sommet de l'angle, « et se repoussent, au contraire, quand l'une s'éloigne « et l'autre se rapproche de ce même sommet. » Lorsque les courants rectilignes ne sont pas situés dans le même plan, on doit entendre dans cet énoncé par sommet de l'angle, la perpendiculaire commune qui mesure la plus courte distance des deux droites. Le cas des courants parallèles rentre dans cette loi, puisqu'on peut considérer deux fils conducteurs parallèles comme formant un angle infiniment petit, dont le sommet est à une distance infinie.

D'après ce principe, lorsque deux courants indéfinis AB et CD (fig. 22) se coupent, il y a nécessairement attraction dans deux angles AOC, DOB, opposés par leur sommet, et répulsion dans les deux autres. D'après cela, si deux fils parcourus par des courants sont mobiles autour d'un axe vertical, ils tendront à se placer parallèlement, de manière que les courants soient dirigés dans le même sens. Ce corollaire peut être vérifié au moyen des deux conducteurs (fig. 23), l'un fixe et l'autre astatique et mobile, placés dans l'appareil (fig. 19), comme les deux précédents.

Il suit de la règle générale que nous venons de donner, sur ce qu'il y a toujours répulsion, quand les courants sont dirigés en sens contraire, et attraction quand ils vont dans le même sens, que si l'on dérange la direction du courant, dans un des conducteurs, l'action répulsive devient attractive, et réciproquement; mais si l'on change à la fois dans les deux courants, leur action mutuelle reste la même.

313. On peut se proposer une foule de questions sur l'action des courants les uns sur les autres, quand on varie la forme des circuits, leur direction, leur distance, et qu'ils sont terminés ou indéfinis. Nous donnerons seulement ici les cas qui sont le plus nécessaires pour l'exposé de la théorie électro-dynamique.

Les diverses parties d'un même courant exercent les unes sur les autres une action répulsive; cet effet résulte de ce que deux portions contiguës d'un même courant rectiligne peuvent être considérées comme deux courants formant un angle de 180°, dont le sommet est au point de séparation. Or, comme le courant de l'une des portions va en s'approchant du sommet, et que le courant de l'autre va au contraire en s'éloignant, il doit y avoir répulsion; c'est ce que M. Ampère a démontré de la manière suivante.

Soit ABCD (fig. 23 *bis*) un vase en verre ou en porcelaine, divisé en deux parties par une cloison AC également de verre, fixée sur ses bords avec du mastic, et

rempli de mercure. On pose sur le mercure le conducteur $npqr$, formé d'un fil de cuivre recouvert de soie, de manière que les deux branches np et rq soient parallèles à la cloison; puis, dans deux capsules E et F, situées dans le prolongement de ces mêmes branches et en communication avec le mercure des compartiments, on plonge les deux fils extrêmes d'une pile. Ce courant passe du mercure dans l'arc $npqr$. Au même instant, le conducteur s'éloigne parallèlement à lui-même jusqu'à l'extrémité du vase. Ce mouvement indique l'action répulsive qu'exercent les unes sur les autres les diverses parties d'un même courant.

314. L'action exercée par un conducteur rectiligne est la même que celle d'un conducteur sinueux, terminés l'un et l'autre aux mêmes points et coïncidant dans leurs directions générales. On démontre cette proposition avec un conducteur (fig. 24), formé de deux fils de cuivre garnis de soie, servant, l'un à conduire le courant, l'autre à le ramener; avec cette différence néanmoins que l'un est droit, et l'autre plié autour. Ce conducteur est placé d'une manière fixe sur la tablette TT′ (figure 19); les extrémités zz' plongent dans les cavités oo'; puis l'on suspend en équilibre, dans les capsules g, g', le circuit astatique (fig. 11); on trouve que le premier n'exerce aucune action sur celui-ci, dans quelque position que ce soit.

Cet effet n'a lieu qu'autant que l'intensité de l'action du conducteur sinueux est égale à l'intensité de l'action du conducteur rectiligne, puisque ces deux forces se font équilibre, qu'elles sont de signe contraire et que les deux conducteurs sont parcourus en sens contraire par le courant. M. Ampère a encore observé ce fait (1), en suspendant un conducteur astatique mobile entre deux conducteurs parallèles, l'un rectiligne, l'autre sinueux, et placés à l'égard du premier dans le cas de la répulsion.

---

(1) Collection de ses Mémoires, p. 216.

Celui-ci, après quelques oscillations, se place au milieu de l'intervalle compris entre les deux conducteurs fixes.

Il résulte évidemment de là, que l'on peut remplacer une portion très-petite de courant mn (fig. 25) par deux courants partiels mx, ny, ou par un nombre quelconque de petits courants mx, xy, yz, zn, ayant la même intensité. Ce procédé, qui a de l'analogie avec la composition des forces en statique, est d'une grande utilité dans les applications du calcul aux phénomènes électro-dynamiques.

315. Un courant terminé, qui s'approche perpendiculairement d'un courant indéfini rectiligne, est transporté parallèlement à sa direction. Soit ab (fig. 26) le courant indéfini, et Dc le courant terminé. L'action du premier sur celui-ci, dans l'angle Dcb, est attractive, et peut être représentée en grandeur et en direction par do, et celle dans l'angle acD, qui est répulsive mais égale à l'autre, par dx. Aux deux forces dx et do on peut substituer une résultante di, parallèle au courant indéfini, qui sera dirigée en sens contraire, et dont l'action tendra à transporter Dc parallèlement à lui-même. Si le courant terminé s'éloigne au contraire du courant indéfini, il tendra à marcher dans le même sens que lui. L'action des deux courants étant réciproque, si le conducteur ab est mobile dans le sens de sa direction, il reculera de a vers b dans le premier cas, et se portera, au contraire, de b vers a dans le second.

Il est difficile de vérifier ces faits en employant un courant rectiligne; mais on y parvient avec un courant circulaire, comme l'a fait M. Savary. On prend un conducteur mobile ABCDEFGH (fig. 27), formé d'un anneau ABCDA′ en cuivre, interrompu en AA′ par une petite lame d'ivoire, et d'une partie verticale EFGH, également en cuivre, à l'exception de la branche HG, qui est formée d'une matière isolante. Ce conducteur est placé en équilibre sur la tige verticale de l'appareil figure 32, de manière que l'anneau plonge dans l'eau acidulée. Si l'on établit la communication avec la

pile, d'une part avec le vase, de l'autre avec la tige, le conducteur se met aussitôt à tourner d'un mouvement continu, qui a toujours lieu dans le même sens, soit que le courant monte ou descende dans la branche verticale FF, qui doit être très-courte, pour diminuer l'action perturbatrice de la terre sur cette branche. Or, cette action rentre dans les effets que nous avons précédemment décrits, comme nous allons le prouver. Lorsque le courant qui arrive par le pivot descend par la branche FE, il suit dans l'anneau la direction A'HBA, et en sort par tous les points pour aller gagner les parois du vase. Représentons par DS un de ces courants : dans l'angle SDT' il y a répulsion entre l'eau et l'anneau, tandis que dans l'angle SDT il y a attraction; or ces deux actions tendent à faire tourner l'anneau dans le sens ADA', et l'eau dans un sens opposé. Ce dernier mouvement est insensible, à cause de la masse de l'eau qui est considérable; mais le premier se manifeste sur-le-champ et continue indéfiniment. Si le courant arrive par le vase, il est facile de voir que le mouvement de rotation a lieu dans le même sens, puisque les courants qui agissaient l'un sur l'autre, ayant changé tous les deux de direction, leur action mutuelle reste la même. Néanmoins, quand on change ainsi le courant, on remarque que le conducteur tourne avec des vitesses inégales dans les deux cas; ce qui vient de l'action de la terre sur la portion horizontale PF du conducteur PFE, dont la longueur est égale au rayon du cercle; action qui tend à le faire tourner tantôt dans un sens, tantôt dans un autre, puisque lorsqu'on change la direction du courant PF, cette action a lieu en sens inverse, ensorte que tantôt elle est additive, tantôt soustractive, relativement à l'action exercée par le courant de l'eau. Si le courant était faible, il pourrait même arriver que l'action de la terre sur PF l'emportât sur cette dernière et qu'on vît le mouvement changer de direction. En opérant avec le circuit (fig. 28), la rotation a lieu dans un autre sens.

316. Passons à l'action qu'exerce un courant indéfini sur

un courant fini mobile autour d'un axe perpendiculaire à sa direction. MN (fig. 29) est le courant indéfini, et CA le courant mobile autour du point C, dans un plan ACD. Il y a plusieurs cas à considérer : le courant indéfini peut couper l'axe de rotation, ou s'en trouver éloigné d'une distance plus ou moins grande que CA. Dans le premier cas, le courant mobile se place parallèlement à l'autre, de manière que le mouvement de l'électricité est dirigé dans le même sens; dans le second, lorsque la distance est plus grande, conformément aux principes précédents, CA se trouve d'abord dans une position oblique quelconque CA′, dans laquelle il est repoussé par la portion nN et attiré par la portion nM, attendu que les deux courants CA′ et nN s'approchent, l'un du sommet de l'angle, et l'autre s'en écarte, tandis que les courants CA′ et nM convergent vers le même sommet. Il suit de là que CA′ prend successivement les positions CA″, CA‴, etc., d'où résulte un mouvement de rotation continu en sens contraire du mouvement de l'électricité dans le courant indéfini, si l'électricité, dans le courant fini, se meut du centre à la circonférence. Quand le courant CA a une direction contraire (fig. 30), le mouvement de rotation s'effectue dans un autre sens.

Enfin, lorsque le courant MN est placé entre le centre et la circonférence, comme dans la fig. 31, il y a répulsion dans l'angle OBN et attraction dans l'angle MBO. D'un autre côté, il y a aussi attraction dans l'angle ABN et répulsion dans l'angle ABM, dont l'effet est de faire tourner le courant OA en sens contraire de la direction que lui impriment les deux premières forces, avec une résultante plus grande, puisqu'elle agit sur un bras de levier plus long. CA se trouve en équilibre quand les moments de ces deux forces sont égaux.

Dans le cas où le courant fini est mobile autour de son milieu, il n'y a plus de rotation, puisque chaque

moitié tend à tourner en sens contraire; il reste alors en équilibre dans toutes les positions possibles.

On peut démontrer directement par l'expérience les trois cas dont nous venons de parler, au moyen de l'appareil de M. Ampère que nous allons décrire. On prend un vase de cuivre CC′C″C‴ (fig. 32), formé de deux cylindres concentriques incrustés et mastiqués sur une tablette de bois, et dans l'axe duquel se trouve une tige verticale de métal *t* surmontée d'une petite capsule *s*, qui sert à suspendre en équilibre, au moyen d'un pivot, le circuit métallique (fig. 33), dont l'anneau plonge dans l'eau acidulée du vase. On fait communiquer ensuite la tige *t* avec l'une des extrémités de la pile, et le vase avec l'autre extrémité; puis on place au-dessous du vase un courant horizontal dans une des trois positions indiquées plus haut : alors on obtient un courant qui tourne indéfiniment, ou un courant qui s'arrête dans une position oblique. La couronne de cuivre ne sert qu'à faciliter le passage, dans le liquide, du courant qui arrive ou sort par la tige verticale, et se déverse en sens contraire dans les deux branches horizontales. Quand le conducteur mobile n'est pas astatique, les mouvements de révolution ne sont pas réguliers.

317. Il résulte des faits précédents les conséquences suivantes : 1° lorsqu'un conducteur fini vertical AB (fig. 34), mobile autour d'un axe *oo′*, est soumis à l'action d'un conducteur indéfini MN, le plan A*boo′* se dirige dans le sens MN, et prend la position OO′B′A′; si le courant dans le conducteur AB est ascendant, c'est le contraire; 2° quand deux conducteurs AB, A′B′ faisant système (fig. 34), mobiles autour de l'axe *oo′*, sont parcourus par des courants dirigés dans le même sens, les deux parties AB, A′B′ restent en équilibre dans toutes les positions possibles, pourvu néanmoins que le courant MN se trouve à une distance suffisante pour que les distances de ce courant aux points B et B′ soient égales dans toutes les positions possibles; 3° lorsque

les courants qui traversent AB, A'B' (fig. 35), sont dirigés en sens inverse, le plan AB, A'B' se place parallèlement à MN; 4° et enfin, quand le courant MN est circulaire, comme dans la fig. 36, le courant mobile AB prend un mouvement de rotation autour de *oo'*. Pour effectuer ce mouvement, on fait usage du vase fig. 32, qu'on entoure d'une hélice circulaire (fig. 37), et l'on prend pour conducteur mobile celui de la figure 33.

§ II. *Des courants fermés et des solénoïdes.*

318. Pour analyser l'action exercée par un courant indéfini sur un courant fermé, il faut déterminer séparément celle qui est produite sur chacune des parties dont il se compose. Cette question est facile à résoudre, en s'appuyant sur les principes que nous avons exposés plus haut. Considérons un conducteur ABCD (fig. 38), de forme rectangulaire, suspendu en équilibre par les points *yy'* dans les capsules *yy'* de l'appareil fig. 9, et soumis à l'action du courant indéfini MN, dont la direction est perpendiculaire au plan du rectangle. Les branches AB, CD sont verticales, tandis que les branches BC, AE, FD sont horizontales.

Nous voyons d'abord que le courant MN sollicite CD avec une force parallèle à MN, dirigée de M en N. Le résultat de cette action est d'amener l'assemblage mobile dans un plan vertical parallèle à MN. La force qui sollicite AB tend à produire le même effet, avec cette différence que la force avec laquelle réagit MN, est dirigée de N en M. Or, comme les deux forces agissent en sens contraire de chaque côté de l'axe de rotation, il en résulte qu'elles tendent à faire tourner le système dans le même sens. Menons maintenant par MN un plan vertical, ce plan viendra couper celui du rectangle suivant une droite *pqr*. Or, les deux portions de courant *cq*, B*q*, relativement à *pqr*, donnent naissance à deux forces, qui sont de signe contraire, et dont les effets s'ajoutent aux précédents. D'un autre côté, les

courants DF, EA produisent des effets inverses; mais comme ils sont plus éloignés de MN que cq et Bq, ils ne peuvent contre-balancer entièrement l'action de ces derniers; la ligne pqr, à la vérité, n'est pas l'axe de rotation, puisque ce véritable axe est yy'; mais comme les points d'application des forces Bq et cq sont les mêmes par rapport au véritable axe, il s'ensuit que ces forces tendent à produire des effets dans le même sens : toutes ces actions combinées auront donc pour résultat de faire tourner le système pour l'amener dans un plan parallèle à MN.

On remarque dans cette expérience que le rectangle EABCD s'incline un peu vers le conducteur MN; M. Ampère rend compte ainsi de cet effet : quand le conducteur mobile se trouve dans la position parallèle à MN, les effets produits sur les branches AB et DC se détruisent, comme il est facile de s'en rendre compte; son plan, en vertu de la pesanteur, tend à devenir vertical; mais il ne l'est pas complétement, attendu que les deux branches parallèles BC et AD, qui sont devenues parallèles à MN, tendent, l'une à s'en approcher, l'autre à s'en éloigner; l'action de la première l'emportant sur celle de l'autre, le rectangle s'incline un peu vers le conducteur indéfini.

Dans la position d'équilibre que nous venons de reconnaître, BC se trouve placé dans la direction MN; si l'on change la direction du courant dans le conducteur mobile sans toucher à l'autre, le premier fait sur-le-champ une demi-révolution, pour que les courants MN et CB soient dirigés dans le même sens. Nous devons appeler de nouveau l'attention du lecteur sur un fait important que nous avons déja signalé dans l'action de la terre sur un circuit fermé, c'est que les branches verticales sont celles qui agissent spécialement pour opérer les diverses circonstances du mouvement du conducteur mobile, puisque ce sont elles qui l'amènent dans un plan parallèle à MN; l'effet principal des courants horizontaux est d'incliner le plan mobile vers MN, lorsqu'il

ne se trouve pas dans le plan vertical qui passe par cette direction.

319. Nous pouvons prouver facilement que les résultats précédents s'appliquent également à des conducteurs fermés quelconques, rectilignes ou non. Prenons un circuit rABCDY' (fig. 39), soumis à l'action d'un courant indéfini MN; soit *mn* un élément quelconque de ce circuit; l'action de cet élément peut être remplacée par celle de deux forces *mp* et *np*, l'une horizontale, et l'autre verticale, formant un circuit sinueux très-rapproché de *mn*. On conçoit que l'on puisse en agir ainsi pour tous les éléments de la courbe, qui pourra être remplacée ainsi par une série d'éléments verticaux et horizontaux, auxquels pourra s'appliquer tout ce que nous avons dit touchant l'influence des branches verticales et horizontales dans un circuit mobile soumis à l'action d'un courant indéfini, pour lui faire prendre une position fixe d'équilibre. Nous conclurons donc de là, que l'action de ce courant sur un conducteur mobile d'une forme quelconque, a pour effet d'amener ce conducteur dans une position fixe d'équilibre dans un plan parallèle au courant indéfini.

Au lieu d'un circuit fermé, prenons-en un certain nombre, situés dans des plans parallèles, et dont toutes les parties soient liées ensemble d'une manière invariable; l'action du courant indéfini tendra encore à amener ce système dans le plan parallèle à la direction du courant indéfini. Or, ce système est réalisé dans l'appareil auquel nous avons donné le nom de *cylindre électro-dynamique*, qui est formé de cercles assemblés à des distances égales, dont les centres sont placés sur une ligne ou axe perpendiculaire à leur direction; ce cylindre, soumis à l'action d'un courant indéfini MN, se place effectivement dans une position d'équilibre, telle que tous les plans des courants qui le composent, sont dirigés dans des plans parallèles à MN. Ce fait est très-facile à vérifier.

Nous avons déja dit que l'action directrice dans les cas que nous considérons, devait être attribuée spéciale-

ment aux branches verticales; nous pouvons démontrer ce fait au moyen d'un arrangement particulier, qui consiste à annuler tout à fait l'action des éléments horizontaux. Reprenons pour cela l'élément sinueux *mpn* (fig. 39): il est facile de démontrer que les actions des petits courants horizontaux *mp* sont détruites dans un cylindre électro-dynamique, si on le suspend par son milieu au-dessus de *mn*, de manière que son axe soit normal à cette ligne. Dans ce cas, nous trouvons que de chaque côté de *mn*, il se trouve sur l'axe deux arcs de cercles équidistants, dans lesquels deux éléments horizontaux homologues exercent des actions égales et de signes contraires, qui se détruisent naturellement; dès lors, on n'a plus à considérer que les éléments verticaux, et le cylindre reste en équilibre dans la position où on l'a placé; ce fait démontre que c'est précisément cette position que ces mêmes éléments tendent à lui donner.

Nous voyons, d'après ce qui vient d'être dit, qu'un solénoïde dont l'axe est horizontal, est dirigé par un conducteur rectiligne indéfini placé au-dessous de son milieu, de manière à se mettre à angle droit avec la direction du conducteur, et que son pôle austral soit à gauche du courant qui le parcourt; dans cette situation, le courant attire le solénoïde, et le repousse lorsque son pôle austral est à droite du même courant. Il est facile de voir aussi que deux solénoïdes se repoussent par les pôles de même nom, comme les aimants, et s'attirent par les pôles de nom contraire.

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DES AIMANTS SUR LES COURANTS MOBILES.

§ 1er. *De l'action des aimants sur les courants rectilignes mobiles.*

320. Les propriétés dont jouissent les courants rectilignes verticaux mobiles, en présence des aimants, peuvent être étudiées avec l'appareil fig. 40, formé de deux vases cylindriques de cuivre, placés parallèlement l'un au-dessus de l'autre; le vase inférieur un peu plus grand que celui d'en haut. Ces deux vases sont percés à leur centre d'une ouverture circulaire, qui donne passage à une tige t, au haut de laquelle est fixée une petite coupe c; la traverse bb' est formée d'une substance non conductrice, et porte en son milieu une pointe par laquelle on suspend le système sur le fond de la coupe, qui est remplie de mercure. Les branches verticales de ce système sont des fils de cuivre fixés à la traverse, et qui plongent dans les deux vases cylindriques où se trouve de l'eau acidulée. De petites languettes ll' en métal servent à établir la communication entre l'eau acidulée du vase supérieur et le mercure de la coupe. En mettant en communication la tige t avec le pôle positif d'une pile, et le vase inférieur avec le pôle négatif, le courant monte dans la tige t, passe à droite et à gauche dans les languettes, et redescend par les branches verticales. En pliant la pointe qui plonge en b' dans l'eau acidulée, de manière qu'elle n'y plonge plus, le

courant ne passe plus que dans un des fils verticaux. Voilà un moyen très-simple pour se procurer un courant fini vertical mobile.

Pour bien saisir la direction imprimée aux courants par l'action des aimants, rappelons-nous que lorsqu'un homme est couché sur le dos, dans la direction du courant, les pieds vers le zinc, la tête vers le cuivre, la droite du courant est toute la partie de l'espace à droite de cet être idéal, et la gauche toute la partie opposée. Quand on soumet à l'action d'un courant une aiguille aimantée librement suspendue, le pôle austral se place toujours à gauche du courant. Si donc *un conducteur rectiligne mobile est soumis à l'action d'un aimant fixe, ce conducteur se tourne perpendiculairement à l'aimant, de manière que sa gauche regarde le pôle austral*, c'est-à-dire celui qui est tourné vers le nord. Pour le démontrer, on prend le conducteur astatique fig. 41, que l'on pose en équilibre dans l'appareil (fig. 8), puis l'on place un aimant horizontal sous AB; aussitôt le conducteur mobile se tourne dans une direction perpendiculaire à l'aimant, le pôle austral à gauche du courant. Nous allons établir quelques propositions générales relatives à l'action des aimants sur les conducteurs rectilignes mobiles.

321 (1). *Un aimant attire un fil conducteur lorsque la gauche regarde le pôle austral de l'aimant, et que le pied de la perpendiculaire commune au conducteur et à l'axe de l'aimant tombe entre les deux pôles de ce dernier. Il y a répulsion lorsque, tout restant de même, la gauche du courant regarde le pôle boréal.* En effet, si l'on présente à l'un des fils verticaux du conducteur (fig. 11) un aimant horizontal parallèle au plan mobile, ce plan vient s'appliquer contre l'aimant si la gauche du courant regarde le pôle austral; dans le cas contraire, il y a répulsion.

(1) Manuel d'électricité dynamique de Montferrand, p. 101.

322. *Un conducteur mobile autour d'un axe et soumis à l'action d'un aimant perpendiculaire à son plan, et dont les deux pôles sont placés de chaque côté du plan, est amené au milieu de l'aimant et s'y arrête après quelques oscillations en équilibre stable, lorsque la gauche du courant regarde le pôle austral; dans le cas contraire, le conducteur peut à la vérité rester en équilibre au milieu de l'aimant; mais cet équilibre est instable, et pour peu qu'il en soit écarté, il continue à s'en éloigner indéfiniment.* Le conducteur (fig. 11) sert encore à vérifier ce fait; car il suffit de placer l'aimant de la manière indiquée, pour l'observer.

323. *Une aiguille qui est suspendue verticalement est attirée entre ses deux pôles par un courant horizontal, lorsque le pôle austral est à la gauche du courant, et repoussée dans le cas contraire.* Pour observer cet effet, il suffit de suspendre une aiguille à coudre aimantée, parallèlement à un long fil, et à lui présenter horizontalement entre les deux pôles une portion du conducteur; au moment où les communications avec la pile sont établies, l'aiguille se porte vers le fil si le pôle austral est à gauche du courant, et elle s'en éloigne dans le cas contraire.

§ II. *De l'action des aimants sur un conducteur voltaïque plié d'une manière quelconque.*

324. Pour analyser l'action d'un aimant sur un conducteur fermé, nous supposerons, pour plus de simplicité, que l'axe de cet aimant soit perpendiculaire au plan du conducteur que nous prendrons circulaire, et nous examinerons d'abord le cas où ce plan passe par le milieu de l'aimant ou du moins s'en écarte très-peu. Le conducteur (fig. 41 *bis*) suspendu dans l'appareil (fig. 8) va nous servir à observer les effets produits. Les flèches indiquent assez les divers contours du fil ainsi que le

sens du courant, pour que nous nous dispensions d'indiquer son mode de formation.

Quand le barreau aimanté est placé dans l'intérieur de l'un des cercles A et B dans les conditions indiquées, le pôle austral à gauche du courant, tous les éléments de ce conducteur sont attirés par le barreau; il en résulte un état d'équilibre instable, car pour peu que le plan du cercle soit incliné par rapport à l'aimant, les deux parties de ce cercle se portent sur l'aimant, sur lequel elles restent appliquées. Dans le cas où le pôle austral est à droite, tous les éléments sont repoussés et l'équilibre devient stable.

Voyons ce qui arrive quand le barreau est placé hors du cercle: dans ce cas le pôle austral prend des positions différentes relatives aux deux demi-circonférences situées de chaque côté de l'axe de révolution; l'équilibre est stable quand la demi-circonférence la plus voisine du barreau est attirée, et la plus éloignée repoussée; si le contraire a lieu, l'équilibre devient instable.

325. Examinons maintenant ce qui se passe quand le conducteur (fig. 42) tourne autour d'un axe pris dans son plan et extérieurement au cercle. Plaçons le barreau, comme nous l'avons fait ci-dessus, dans l'intérieur de l'un d'eux, c'est-à-dire perpendiculairement au plan mobile; dans ce cas le plan du conducteur sera porté vers le milieu de l'aimant, où il s'arrête, après quelques oscillations en équilibre stable, quand le pôle austral sera à gauche, attendu que chaque élément est attiré également et agit de manière à faire passer le plan mobile; exactement par le milieu du barreau; mais si le plan austral est à droite, l'équilibre qui aurait lieu, si le plan du circuit passait exactement par le milieu de l'aimant, serait toujours instable pour peu qu'il s'écartât du milieu; chaque élément éprouve une tendance pour s'échapper dans le sens du petit segment. Si l'on présente le barreau extérieurement aux cercles dans le plan horizontal qui passe par leur centre, et que son milieu soit encore peu éloigné du plan mobile, on trouve alors que

lorsque la demi-circonférence voisine du barreau est attirée, le cercle se trouve dans un état d'équilibre stable; dans le cas contraire, où il ne peut y avoir qu'équilibre instable, il s'échappe dans le sens du moindre segment du barreau.

L'aiguille étant passée dans l'intérieur du cercle, comme il a été dit précédemment, c'est-à-dire perpendiculairement au plan du cercle, si l'on fait varier sa position en conservant toujours l'axe dans le prolongement de la même ligne, on remarque dans le cas où le plan du conducteur répond au milieu de l'aimant en équilibre stable, que ce conducteur suit le mouvement de l'aimant, et dans le cas où l'équilibre est instable, que cet équilibre se trouvant troublé par le déplacement de l'aimant, le conducteur est chassé du côté du petit segment.

326. Les faits précédents nous mettent à même de concevoir l'action des aimants sur des conducteurs pliés en hélice ou cylindres électro-dynamiques, semblables à ceux de la fig. 14, qui sont librement suspendus dans l'appareil (fig. 10), et dont nous avons fait usage en étudiant l'action du globe terrestre sur les conducteurs fermés. Si l'on présente un barreau aimanté à ce cylindre à une certaine distance et hors de l'espace compris entre les deux plans des spires extrêmes, on trouve que les deux parties opposées du cylindre manifestent des actions contraires, c'est-à-dire des attractions ou des répulsions selon le sens du courant et la nature du pôle le plus voisin; effets absolument analogues à ceux que l'on observe quand on présente un aimant à un autre aimant.

Pour analyser ce mode d'action, considérons un cylindre électro-dynamique librement suspendu par son milieu à un axe vertical. Ce cylindre, après quelques oscillations, se placera dans le méridien magnétique. Si l'on examine, dans ce cas, la direction des courants, on trouve qu'ils sont descendants à l'est et ascendants à l'ouest, qu'ils vont de l'est à l'ouest dans la partie inférieure de chaque spire et de l'ouest à l'est dans la partie supérieure. Présentons-lui l'un des pôles d'un aimant,

il y aura attraction ou répulsion, suivant que les pôles de nom contraire ou de même nom du cylindre et de l'aimant seront en présence l'un de l'autre.

Nous voyons donc que l'on peut imiter les attractions et répulsions qui ont lieu entre deux aiguilles aimantées, l'une fixe et l'autre mobile, en substituant à l'une ou à l'autre, ou à toutes deux, des cylindres électro-dynamiques. Dès lors on peut considérer un aimant comme un cylindre électro-dynamique, dans lequel les courants circulent de l'est à l'ouest dans la partie inférieure de chaque spire, quand l'aimant est dirigé par l'action terrestre. Cette comparaison n'a pas échappé à la sagacité de M. Ampère, qui l'a prise pour point de départ d'une nouvelle théorie du magnétisme, dont nous aurons l'occasion de parler plus loin avec les développements qu'elle comporte.

CHAPITRE VII.

DE LA ROTATION DES COURANTS PAR L'INFLUENCE DES COURANTS, DES AIMANTS OU DU MAGNÉTISME TERRESTRE, ET RÉCIPROQUEMENT DE LA ROTATION DES AIMANTS PAR L'INFLUENCE DES COURANTS.

§ Ier. *De la rotation des courants par l'action des courants.*

327. Nous avons déja indiqué (316) comment on peut effectuer la rotation d'un courant par l'action des courants; il suffit d'entourer le vase circulaire de l'appareil (fig. 32) d'une hélice circulaire et de prendre pour conducteur mobile celui de la figure 33; n'ayant rien à ajouter à ce que nous avons dit sur la cause qui produit le phénomène, nous passerons de suite à la rotation des courants par l'influence des aimants.

§ II. *De la rotation des courants par l'influence des aimants ou du globe terrestre.*

328. Un aimant qui est placé parallèlement à un conducteur mobile sur un pivot et dans le prolongement de l'axe de rotation, ou qui est légèrement incliné par rapport au conducteur, lui imprime un mouvement continu de rotation dans le même sens. Les appareils (fig. 44, 45, 46, 47 et 52) servent à démontrer cette proposition.

Soit ABDE (fig. 44) un vase de verre, et NS un aimant vertical ; *zg* un fil conducteur communiquant

avec le pôle positif d'une pile, et pouvant se mouvoir librement autour d'un anneau *g*. On verse du mercure dans le vase jusqu'à ce que l'extrémité du fil y soit légèrement plongée. Le mercure communique, au moyen d'une tige de métal, avec la capsule *c*, remplie également de mercure. Le contact étant établi en *c* avec le pôle négatif de la pile, le fil *g z* prend un mouvement rapide de rotation autour de l'aimant. On renverse le mouvement en retournant l'aimant, ou en changeant la direction du courant.

Le second appareil, qui exige une action galvanique peu énergique pour produire la rotation, consiste en un tube de verre rempli en partie de mercure (fig. 45), et dont le fond est fermé avec un morceau de liége, au travers duquel passe un fil de fer doux *ab*. L'orifice supérieur est aussi fermé par un morceau de liége à travers lequel passe un bout de fil de platine terminé en crochet intérieurement. Un autre fil *cd* est suspendu à celui-ci par un fil métallique suffisamment fin, et son extrémité inférieure s'incline un peu dans le mercure. On fait passer un faible courant dans l'appareil, après avoir appliqué le pôle d'un fort aimant à l'extrémité extérieure du fil de fer. Le fil de platine tourne alors rapidement autour de l'aimant. M. Faraday a construit un appareil de ce genre, qui fonctionne par l'action d'une pile composée de deux plaques, chacune d'un pouce seulement de côté.

Le troisième appareil, qui exige encore un courant moins fort que le premier pour fonctionner, se compose d'un vase *z z'* (fig. 46) en zinc rempli d'eau acidulée, au centre duquel est soudé un cylindre de cuivre P surmonté d'une tige verticale *sc* en cuivre terminée par une petite coupe *c*, sur laquelle on pose en équilibre, comme à l'ordinaire, le circuit rectangulaire. Si l'on place le pôle d'un aimant au-dessous de l'ouverture, on a alors les phénomènes de rotation décrits précédemment; l'effet est ici produit par l'action de l'aimant sur un courant provenant d'un seul couple voltaïque.

Le quatrième appareil se compose :

1° D'un vase de cuivre ABCD (fig. 52), d'environ 2 pouces $\frac{1}{2}$ de hauteur et d'un diamètre égal ; 2° d'un autre petit cylindre en cuivre *abcd* soudé au premier à son extrémité inférieure *dc*. Le cylindre *abcd* est ouvert de manière à laisser passer un aimant cylindrique, et peut contenir en même temps une dissolution dans l'espace compris entre les deux cylindres ; dans le même espace se trouve un cylindre de zinc *zz'* moins haut que celui de cuivre ; aux cylindres *ab* et *zz'* sont soudés deux fils de cuivre, comme l'indique la figure. Le fil supérieur porte une pointe d'acier E qui repose dans une cavité en F : le cylindre *zz'* est donc libre de se mouvoir sur son point de suspension en F. Les choses étant ainsi disposées, on place à travers le cylindre intérieur l'extrémité nord d'un fort aimant cylindrique ; le cylindre de zinc se met aussitôt à tourner avec plus ou moins de vélocité, selon la force de l'acide, la liberté du mouvement et le pouvoir de l'aimant. M. Barlow est parvenu, au moyen de cet appareil, à produire un mouvement de 120 rotations par minute.

L'appareil (fig. 47), qui est généralement employé est formé d'un circuit rectangulaire *ab b'a'*, muni en *c* d'un pivot servant à le tenir en équilibre sur une capsule *c*, remplie de mercure, laquelle est placée à l'extrémité d'une tige conductrice en communication avec l'un des pôles d'une pile ; les deux extrémités inférieures *aa'* plongent dans un vase de métal cylindrique rempli d'eau acidulée, et communiquant avec l'autre pôle de la pile ; le courant entre par la tige *t*, se déverse à droite et à gauche dans les deux moitiés de la branche horizontale, et redescend dans les deux branches verticales. Si l'on place l'aimant sous l'appareil entre les branches *ab*, *a'b'*, de la manière indiquée, le mouvement de rotation commence aussitôt. Quand le courant est ascendant dans le conducteur et le pôle austral en bas, le mouvement de rotation a lieu de l'est à l'ouest par le sud. En ren-

versant l'aimant, le mouvement s'effectue de l'est à l'ouest par le nord. En changeant l'ordre des communications avec la pile, les effets sont inverses.

Le circuit (fig. 48 *bis*) diffère du précédent en ce qu'on a adapté à la base du rectangle un ruban circulaire en cuivre, destiné à recueillir une plus grande quantité d'électricité que les bouts aa'; du reste, l'effet produit est le même. Lorsque le pôle austral d'un aimant est placé sous le conducteur mobile, ou le pôle boréal au-dessus, la rotation va dans le même sens que celle qui a lieu par l'action de la terre, comme nous le verrons dans le paragraphe suivant.

Quand les pôles sont placés en dehors du circuit, il n'y a plus de mouvement de rotation, mais bien d'autres mouvements d'où résultent de nouvelles positions d'équilibre.

329. Il est facile de se rendre compte de tous ces phénomènes, au moyen de l'action exercée par un courant sur l'aiguille aimantée. Soit AO (fig. 48) un courant vertical mobile, et $abcd$ une section du barreau à l'une de ses extrémités. Si nous prenons deux points M, M', situés symétriquement de chaque côté du plan vertical AOa, chacun des points de AO, le point P, par exemple, exerce sur M et M' des actions égales et de signe contraire; il s'ensuit qu'en décomposant chacune d'elles en deux autres, l'une verticale et l'autre horizontale, savoir, la première en Pi' et Ph', et la seconde en Pi et Ph, les deux forces verticales Pi, Pi', étant égales et dirigées en sens inverses, se détruisent, tandis que les deux composantes horizontales Ph, Ph', s'ajoutent et tendent à faire tourner l'aimant. Tous les points de AO agissent de la même manière par rapport à tous ceux de l'aimant, qui sont symétriquement placés par rapport au plan vertical Aoa. Il s'ensuit que la résultante de toutes ces actions sera à chaque instant une force perpendiculaire à AO, laquelle lui imprimera un mouvement de rotation.

330. On obtient encore le mouvement de rotation avec le conducteur (fig. 48 *bis*), quand on dispose des aimants dessous, comme les rais d'une roue, en ayant l'attention de placer les pôles de même nom vers l'axe de l'appareil.

331. Dans les expériences précédentes il n'a été question que de la rotation des courants verticaux; mais on peut l'obtenir aussi avec des courants horizontaux, comme nous l'avons annoncé (302). Voici comment on réalise ce mouvement:

On place la chape *o* d'un fil horizontal *n p* (fig. 49) sur la pointe *x* de l'appareil (fig. 3). Ce fil plonge par ses deux extrémités de platine *nm* et *pq* dans chacun des compartiments du canal supérieur; puis, après avoir placé un fort aimant sous la tablette supérieure, dans le sens de l'aiguille d'inclinaison, on plonge les fils extrêmes de la pile dans les capsules M et N, afin que le courant ne traverse seulement que la moitié; on voit aussitôt cette moitié prendre un mouvement continu de rotation autour du point *o*, lequel n'est interrompu que par les cloisons *a* et *c*.

§ III. *De la rotation des aimants par l'influence des courants.*

332. Lorsqu'un barreau aimanté librement suspendu est placé au-dessus, au-dessous, à droite ou à gauche d'un fil de métal, parcouru par un courant électrique, le même pôle est chassé d'un côté ou de l'autre, et s'incline dans un sens ou dans un autre.

Voilà ce qui se passe toutes les fois que le barreau est libre de se mouvoir dans un plan horizontal; mais s'il est disposé de manière à pouvoir circuler autour d'un fil conducteur, il tourne autour de ce fil. M. Faraday a effectué cette rotation d'une manière très-simple. Nous distinguerons deux cas : la rotation du barreau autour d'une ligne parallèle à son axe, et la rotation autour de l'axe même du barreau. On prend une large éprouvette en verre EE (fig. 50), qui est presque en-

tièrement remplie de mercure; un aimant cylindrique AB, de 7 ou 8 pouces de longueur, est placé verticalement dans le mercure au moyen d'un lest en platine P; le bout supérieur de cet aimant s'élève de quelques millimètres au-dessus de la surface du mercure : une tige métallique *t* qui plonge dans le mercure est mise en communication avec le pôle négatif d'une pile, et une autre tige *p*, qui plonge également dans le mercure très-près du contour extérieur de l'éprouvette, communique avec le pôle positif. Aussitôt que l'appareil commence à fonctionner, l'aimant se met à tourner dans le même sens autour de la tige *t*, avec un mouvement plus ou moins rapide, suivant la force de la pile et le poids de l'aimant. Le pôle inférieur B de l'aimant, qui est plus éloigné du centre d'action que le pôle A, ne peut concourir aussi efficacement à l'effet général que ce dernier, qui est par conséquent la cause immédiate du phénomène.

Ne pouvant, faute de documents convenables, analyser complétement pour l'instant toutes les circonstances de ce phénomène, nous allons cependant indiquer comment il peut avoir lieu. Remarquons d'abord qu'indépendamment du courant qui arrive ou qui sort par la tige *t*, il s'établit encore à la surface du mercure des courants horizontaux qui le traversent dans toutes sortes de directions.

Soient *abc* (fig. 51) une coupe horizontale prise à la surface du mercure, *c* une section dans le courant, A celle de l'aimant, et A', A'' les diverses positions de l'aimant dans son mouvement de rotation autour de la tige *t*. Supposons que le pôle austral de l'aimant soit en haut et que le courant entre par la tige *t*. Le courant ascendant et les courants horizontaux ne réagissent pas de la même manière sur l'aimant : le premier pousse sans cesse à gauche le pôle austral de l'aimant et tend à le faire retourner, comme il est facile de s'en rendre compte en décomposant chacune des actions contraires exercées par chaque élément du courant sur cha-

que point de l'aimant en deux autres, l'une dirigée suivant la verticale, l'autre suivant la ligne horizontale qui passe par le point que l'on considère sur l'aimant et aboutit à la tige *t* : cette dernière est celle qui détermine le mouvement de rotation. De tous les courants horizontaux, celui qui agit le plus directement, est le courant qui va de *c'* à la tige. Or, cette action favorise ce mouvement, quand l'aimant se trouve dans la demi-circonférence A A″, et le contrarie, quand il est dans la demi-circonférence opposée; et comme ces actions sont très-faibles en comparaison de celle qui émane de la tige *t*, il en résulte que cette dernière produit seule le phénomène.

Pour obtenir le mouvement de rotation de l'aimant autour de son axe, il faut, comme l'a fait M. Ampère, pratiquer, à l'extrémité supérieure d'un aimant AB (fig. 51), une petite cavité qui sert de coupe, pour y placer du mercure ; puis l'on abaisse la pointe d'une tige *t*, jusqu'à ce qu'elle atteigne le mercure sans toucher l'aimant. Quand la communication est établie avec la pile, l'aimant se met à tourner sur lui-même avec une grande vitesse : en changeant la direction du courant, l'effet est inverse.

333. Comme conséquence de l'effet indiqué (331), on peut dire qu'un aimant tourne encore sur son axe quand il est soumis à l'action de courants horizontaux qui convergent vers son centre ou qui divergent.

§ IV. *De la rotation des courants par l'action de la terre.*

334. La rotation des courants par l'action de la terre, qui n'est qu'une conséquence de celle des courants par l'action d'un aimant, a été observée la première fois par M. Ampère. Voici deux appareils à l'aide desquels on fait cette expérience intéressante :

Le premier appareil (fig. 47) est déja connu.

On fait communiquer la pile, d'une part avec l'axe,

et de l'autre avec le liquide, au moyen d'un anneau de cuivre qui plonge dedans. Soit que le courant monte ou descende par la tige t, le circuit se met aussitôt à tourner, dans un sens ou dans un autre, avec une rapidité qui dépend de la force de la pile, etc. Il est facile de se rendre compte de cette action : les deux branches verticales étant indifférentes à l'action du magnétisme terrestre, les deux branches horizontales $m\,b$, $m\,b'$, doivent seules déterminer la rotation : on conçoit effectivement que si le courant est ascendant, $b\,b'$ se trouvant dans le méridien magnétique, b au midi et b' au nord, le pôle boréal de la terre b' tendra à porter $m\,b'$ en avant du plan de la figure, et $m\,b$ derrière le même plan, avec une force égale : le pôle austral agira dans le même sens. C'est la réunion de ces quatre actions qui détermine le mouvement de rotation.

M. Ampère a fait usage aussi d'un autre appareil dont voici la description :

A A', B B' (fig. 53), sont deux vases de cuivre concentriques, séparés l'un de l'autre, incrustés et mastiqués sur un disque en bois. Une coupe m, placée extérieurement, est soudée à une lame de métal qui porte à son autre extrémité une coupe c; deux autres coupes g et d communiquent, l'une avec le compartiment B B', l'autre avec le compartiment A A', etc. Ces deux vases sont remplis de mercure ou d'eau acidulée; on pose en équilibre sur la coupe c un circuit $a\,a'\,b\,b'$, composé de deux petits rubans de cuivre $a\,a'$, $b\,b'$, formant chacun un arc de 90°, et dont l'un plonge dans la partie A A' et l'autre dans la partie B B'. Ces deux rubans sont joints par deux fils de cuivre en sautoir, qui se croisent sur le pivot p, mais sont isolés en a' et b'. On place le pivot sur la coupe centrale c, de manière que $a\,a'$ touche légèrement le liquide de A A', et $b\,b'$ celui de B B'; puis on met en communication les coupes d et m ou g et m avec les deux pôles d'une pile : alors le courant va de a en p ou de b en p, et le sautoir tourne dans un sens ou dans un autre. Si le courant passait par les coupes g et d,

il n'y aurait pas de mouvement de rotation, parce que les branches ap, pb, tendraient toujours à tourner en sens inverse, quel que fût l'angle formé par les deux directions.

Quant à la direction imprimée par l'influence terrestre, elle est absolument la même que celle que nous avons obtenue dans les aimants, si l'on considère la terre elle-même comme un aimant, dont les pôles pour chaque lieu se trouvent sur la ligne d'inclinaison. Ainsi ce que nous avons dit sur l'action des aimants s'applique à celle de la terre.

§ V. *De la rotation du mercure.*

335. Nous avons déja fait connaître une expérience curieuse de M. Savary, qui montre les effets produits dans la réaction de courants qui rayonnent dans toutes sortes de directions, sur des conducteurs mobiles. Le principe qui en découle sert à expliquer une foule de phénomènes de mouvement que l'on observe dans les réactions électro-chimiques, lorsqu'un des conducteurs est liquide. Dans l'impossibilité où nous sommes pour l'instant d'exposer convenablement tous ces phénomènes, faute de documents nécessaires, nous parlerons seulement des effets obtenus soit avec des spirales sinistrorsum et dextrorsum (fig. 54, 55), soit avec le mercure, soit avec l'eau acidulée.

Quand ces spirales, qui sont formées d'un fil de cuivre dont les spires sont maintenues dans un même plan par trois règles de bois ou de baleine, sont suspendues en équilibre dans la capsule s de l'appareil (fig. 32), et que leurs circonvolutions plongent dans l'eau acidulée, alors elles se mettent à tourner toujours dans le même sens, quelle que soit la direction du courant. Cet effet rentre dans celui que nous avons obtenu avec l'appareil (fig. 27) dont nous avons donné l'explication.

336. Quant à la rotation du mercure, voici comment Davy l'a observée : ayant placé dans un bain de mercure, perpendiculairement à sa surface, deux fils de métal en

communication chacun avec une paire de plaques de 10 à 15 pieds carrés, il approcha le pôle d'un fort aimant au-dessus ou au-dessous de l'un de ces fils; le mercure se mit aussitôt à tourner autour d'eux comme axes. La vitesse de rotation augmenta quand il fit agir simultanément les pôles opposés de deux aimants, l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la surface.

Il est parvenu ainsi à mettre en mouvement des masses de mercure de plusieurs pouces de diamètre. Le mouvement de rotation cessa dès l'instant que le pôle de l'aimant fut placé au-dessus de la surface du mercure, entre les deux fils; dans ce cas, il s'établit, dans le liquide, deux courants opposés, l'un à droite, l'autre à gauche de l'aimant.

337. Si l'on fait passer les deux fils conducteurs à travers deux trous pratiqués à trois pouces de distance, dans le fond d'un vase, et qu'on les entoure de cire à cacheter, de manière à ne laisser passer que les deux extrémités qui sont polies; puis qu'on ne mette que le mercure nécessaire pour qu'il s'élève de $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{12}$ de pouce au-dessus des fils; à l'instant où la communication électrique est établie, le mercure est agité; sa surface au-dessus des conducteurs s'élève en forme de cône, d'où s'échappent des ondes métalliques dans toutes les directions; le point intermédiaire entre les deux fils est le seul qui soit en repos. En présentant le pôle d'un fort aimant à une distance de plusieurs pouces au-dessus de l'un de ces cônes, son sommet s'abaisse, sa base s'étend, et les ondes deviennent moindres à mesure que l'on approche l'aimant; enfin la surface devient plane, et un mouvement de rotation finit par s'établir lentement autour du conducteur. En continuant à approcher l'aimant, le mouvement s'accélère, et quand il se trouve à un demi-pouce environ de la surface du mercure, il se fait une grande dépression au-dessus du fil, et il s'établit un tourbillon conique, qui s'étend presque jusqu'à son extrémité.

En remplaçant le mercure par un bain d'étain en fusion, les phénomènes sont les mêmes.

Ces effets, qui se compliquent souvent en raison de plusieurs circonstances, dont nous ne pouvons parler ici, résultent de l'action des courants qui parcourent le mercure, soit sur les fils qui servent à établir la communication électrique, soit sur les aimants que l'on présente à peu de distance. Leur explication repose enfin sur le principe qui a été établi dans le paragraphe précédent, savoir, qu'une masse de courants qui rayonnent d'un même point, tourne autour de ce point par l'action d'un aimant.

CHAPITRE VIII.

RAPPORTS ENTRE LES HÉLICES ET LES AIMANTS.

338. Nous avons déja vu qu'une hélice se comporte comme un aimant, par rapport à un autre aimant ou une autre hélice; c'est-à-dire que les pôles de même nom dans l'hélice et dans l'aimant, ou dans les deux hélices, se repoussent, et que les pôles de nom contraire s'attirent. Cette analogie d'action entre les aimants et les conducteurs pliés en hélice se soutient, comme M. Ampère l'a démontré, dans toutes les expériences où l'on peut substituer les uns aux autres et réciproquement. Elle se soutient encore, comme nous le verrons bientôt, dans la comparaison des résultats analytiques, et de ceux qui sont déduits de l'expérience. C'est après une telle épreuve que M. Ampère en a conclu que les aimants devaient leurs propriétés à des courants électriques circulant autour des particules de l'acier, dans des plans perpendiculaires aux lignes magnétiques. Cette idée-mère d'une théorie féconde en applications importantes est une des belles conceptions de l'époque.

Le cylindre électro-dynamique a servi à faire une expérience importante, qui jette quelque jour sur la cause qui produit l'aimantation dans l'acier.

M. Arago, peu de temps après la découverte du magnétisme par rotation, eut l'idée de substituer au barreau aimanté soumis à l'action d'un disque tournant, un conducteur plié en hélice; en ayant fait part à M. Ampère, ils tentèrent en commun cette expérience, qui ne réussit pas. Mais M. Colladon ayant disposé plus

convenablement l'appareil dont on s'était d'abord servi, obtint le phénomène désiré, et constata que l'effet était très-intense. Il fit usage d'une double hélice très-courte, dont les spires avaient environ deux pouces de diamètre, et qui était rabattue de manière que le plan de leurs contours était parallèle au plan du disque. Ce succès de l'expérience dépendait de cette disposition.

339. Pour déterminer le sens des courants dans les aimants, on se rappellera que lorsqu'une courbe est dirigée par l'action de la terre, le courant va de l'ouest à l'est dans la branche supérieure, et de l'est à l'ouest dans la partie inférieure. Dans un barreau aimanté soumis à l'action terrestre, la direction des courants autour des particules est la même, suivant la théorie de M. Ampère. Prenons, par exemple, un aimant cylindrique à base circulaire, divisé en couches concentriques autour de l'axe. Soit *abc* (fig. 56) une section du cylindre perpendiculairement à l'axe, et représentons par des petits cercles les courants moléculaires qui forment la couche extérieure. Il est bien certain qu'un aimant que l'on présentera à ce système, dans une position quelconque, exercera le même mode d'action sur tous les petits courants, dont la résultante dépendra des positions relatives de l'aimant et des parties de courants les plus voisines ; il suit de là que l'effet sera le même que si l'on avait un courant unique autour du cercle *abc*, et que l'on peut substituer, mathématiquement parlant, à des sections perpendiculaires à l'axe d'un aimant dirigé par l'action terrestre, des courbes fermées parallèles, parcourues par des courants qui sont de l'ouest à l'est dans la partie supérieure, et de l'est à l'ouest dans la face inférieure.

340. La terre se comportant comme un aimant vis-à-vis d'un aimant, M. Ampère en a tiré la conséquence que son magnétisme devait être attribué également à des courants électriques, circulant dans des plans perpendiculaires au méridien magnétique, de l'est à l'ouest. D'après les considérations précédentes, le pôle boréal

d'un cylindre électro-dynamique est celui qui est situé à droite des courants de l'hélice : c'est précisément celui qui se dirige au sud par l'action de la terre ; le pôle austral est celui qui est opposé.

341. Les vues théoriques de M. Ampère sur les phénomènes magnétiques s'appliquent aussi aux corps non aimantés, si l'on admet, comme il l'a proposé, que les courants élémentaires aient lieu dans toutes les directions possibles ; car, dans ce cas, ils ne peuvent produire aucun phénomène à l'extérieur, puisque les actions qui vont dans un sens sont détruites par celles qui vont dans un sens contraire. L'aimantation passagère qu'éprouve un barreau de fer doux placé dans la sphère d'activité d'un aimant, s'explique également bien par les courants élémentaires. Ces mêmes vues théoriques viennent de recevoir une sanction nouvelle par les découvertes récentes de M. Faraday, relatives à l'induction électro-magnétique : l'habile physicien anglais a prouvé que l'action par influence de courants électriques circulaires était la même que celle d'un aimant placé suivant l'axe de ces courants. Nous allons montrer avec quelle facilité les mouvements de rotation des courants autour des aimants, ou des aimants autour des courants, s'expliquent dans la théorie de M. Ampère : reportons-nous à l'expérience (déjà décrite), où le conducteur *abcd* (fig. 32) tourne autour de la tige *t* comme axe, par l'action d'un conducteur fixe plié en cercle autour du vase ; or, on obtient le même résultat quand on remplace le conducteur circulaire par un aimant vertical dont les courants se meuvent dans le même sens. Si, par exemple, le courant, dans le conducteur circulaire fixe, se meut nord, est, sud, ouest, on peut le remplacer par un aimant dont le pôle austral est en bas ; si le courant, au contraire, chemine dans le sens nord, ouest, sud, est, il faut que le pôle austral soit placé en haut pour produire le même effet. L'expérience montre encore que l'action de l'aimant, comme celle du conducteur, reste la même sur le conducteur mobile, quelles que soient

la grandeur et la forme de celui-ci, pourvu néanmoins que les deux extrémités soient toujours au même point. On reconnaît également, quand on opère avec les conducteurs (fig. 27 et 28), que le courant circulaire ainsi que l'aimant ne peuvent produire le mouvement de révolution continu, quand le conducteur mobile forme un circuit fermé. Revenons maintenant au mouvement de rotation, et commençons par celui qu'exécute un aimant autour d'une ligne parallèle à son axe, par l'action d'un aimant. Voici comment M. Ampère explique ce phénomène (1) : soit abc (fig. 57) une section dans l'anneau conducteur, $rr'r''$ une section de l'aimant, et O le centre des courants, qui rayonnent du centre à la circonférence. Faisons remarquer d'abord qu'il s'établit à la circonférence du mercure une grande quantité de courants, dont les uns sont extérieurs à la surface du bain, et dont les autres le traversent. Supposons les courants dirigés comme l'indique la figure, et dans le mercure et dans l'aimant. Soient OA et OA′ deux courants tangents; le premier attire la portion de chaque courant de l'aimant, qui tourne sa convexité vers lui, et repousse les autres portions avec une force moindre, puisqu'elles sont plus éloignées; la force OA′ produit des effets contraires. Or, l'action attractive du premier est dirigée suivant rx, et l'action répulsive du second, suivant $r'x$: la résultante de ces deux forces est dirigée suivant TT′ perpendiculaire à Ox, dont l'action a pour effet de pousser l'aimant dans le sens xT ; deux autres courants OB, OB′ auront une résultante dirigée dans le même sens.

Les courants qui traversent l'aimant peuvent être partagés chacun en trois portions. La première va de o à l'aimant, la seconde traverse l'aimant, et la troisième va de tous les points de l'aimant à la circonférence du mercure. La seconde n'a aucune influence sur le mouvement : quant à la première et à la troisième, re-

(1) Traité de Physique, Despretz, 3e édit., p. 572.

lativement à leur action sur ox, leur résultante est dirigée suivant XT, d'après ce que nous avons dit : ainsi l'aimant tend à tourner autour du point o, dans le sens xT.

Dans le cas où la surface de l'aimant serait recouverte d'une matière isolante qui ne permît pas aux courants de pénétrer dans l'intérieur, alors la seconde portion serait transportée dans le mercure, et joindrait son action à celle des deux autres portions, ce qui accélérerait le courant.

342. Quant à la rotation de l'aimant autour de son axe, on en rend compte de la manière suivante : *pqrs* (fig. 58) est l'aimant, AB l'axe, *abcd* une coupe dans le mercure; l'aimant ne peut être sollicité que par les courants qui traversent le mercure, et par le reste du circuit; or, les premiers déterminent seuls le sens de rotation, puisqu'ils agissent avec plus de force que les autres. Si donc Sa est un de ces courants, il attirera ceux qui sont à droite et repoussera ceux qui sont à gauche; il s'en suivra, à cause de la symétrie, que la résultante sera perpendiculaire à SA, et dirigée en sens contraire des courants de l'aimant, comme l'indique aussi l'expérience.

CHAPITRE IX.

DES THÉORIES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES ET DES TRAVAUX ANALYTIQUES QUI S'Y RAPPORTENT.

§ I. *Théorie des forces révolutives.*

343. M. OErsted, en découvrant l'action d'un courant électrique sur l'aiguille aimantée, a admis sur-le-champ que la force qui lui donnait naissance avait un caractère révolutif. Ayant remarqué que le même pôle de l'aiguille était chassé à droite ou à gauche, soulevé ou abaissé, suivant que l'aiguille se trouvait au-dessus, au-dessous, à droite ou à gauche du courant, il admit que la force ou la matière négativement électrique parcourait une spirale tournée de gauche à droite, chassant le pôle nord et n'agissant pas sur le pôle sud, et que, pour expliquer les effets sur ce dernier, cette force devait avoir un mouvement dans une direction contraire.

344. M. Biot, après avoir trouvé la loi de l'action exercée par un fil conducteur très-fin et indéfini sur une molécule magnétique, a annoncé (1) que la nature de cette action était la même que celle d'une aiguille aimantée qui serait placée sur le contour du fil dans un sens déterminé et toujours constant par rapport à la direction du courant voltaïque; il a considéré, en outre, comme élémentaire la force qu'exerce un élément du fil conducteur sur une molécule de fluide austral ou de

(1) Traité de Physique, t. II, p. 774, 3e édit.

fluide boréal, et comme un phénomène composé l'action mutuelle de deux éléments de conducteurs voltaïques. Cette manière d'envisager les phénomènes électro-dynamique n'a encore reçu que peu d'applications.

§ II. *Théorie de M. Ampère.*

345. M. Ampère, en partant du principe de Newton, que deux molécules de matière ne peuvent agir qu'en s'attirant ou se repoussant, suivant la ligne droite qui les joint, avec des forces égales et directement opposées, ce qui exclut toute théorie qui admettrait une force révolutive autrement que comme résultante de forces attractives et répulsives, et s'appuyant sur des expériences qui lui sont propres, a établi les lois des phénomènes électro-dynamiques au moyen d'une formule qui peut représenter à elle seule les forces auxquelles ils sont dus. La marche analytique qu'il a suivie est indépendante de la nature de la cause qui produit les phénomènes électro-dynamiques.

Dès l'instant qu'il eut reconnu que deux conducteurs voltaïques parallèles s'attirent ou se repoussent, selon que les courants cheminent dans le même sens ou dans des sens différents; qu'il eut décrit les actions qu'ils exercent les uns sur les autres dans les différentes positions où on les met, et qu'il eut constaté l'égalité d'action qui est exercée par un conducteur rectiligne et par un conducteur sinueux, il s'attacha à déterminer la valeur analytique de la force attractive ou répulsive de deux de leurs éléments, afin de pouvoir en déduire par l'intégration l'action qui a lieu entre deux portions de conducteurs dont la forme et la position sont données.

Pour déterminer la valeur de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites de conducteurs voltaïques, M. Ampère ayant remarqué que l'on peut y parvenir de deux manières différentes, l'une en mesurant l'intensité des forces par le nombre d'oscillations qu'elles impriment à un même corps dans un temps donné, l'autre en constatant par l'expérience qu'un conducteur mobile

reste exactement en équilibre entre des forces égales ou des moments de rotation égaux, a donné la préférence à cette dernière. Ces forces et ces moments étant produits par des portions de conducteurs fixes, dont les formes ou les grandeurs peuvent varier d'une manière quelconque, sont des conditions que l'expérience détermine; on en conclut ensuite, par le calcul, quelle doit être la valeur de l'action mutuelle de deux portions infiniment petites pour que l'équilibre soit indépendant de tous les changements de forme ou de grandeur compatibles avec ces conditions.

346. Les divers cas d'équilibre que M. Ampère a constatés (1), par des expériences précises, donnent immédiatement autant de lois qui conduisent directement à l'expression mathématique de la force que deux éléments de conducteurs voltaïques exercent l'un sur l'autre, d'abord en faisant connaître la forme de cette expression, ensuite en déterminant les nombres constants, mais d'abord inconnus, qu'elle renferme, précisément comme les lois de Kepler démontrent d'abord que la force qui retient les planètes dans leurs orbites tend constamment au centre du soleil, ensuite qu'elle change pour une même planète en raison inverse du carré de sa distance à ce centre, enfin que le coefficient constant qui en représente l'intensité a la même valeur dans toutes les planètes. Ces cas d'équilibre sont au nombre de quatre :

Le premier démontre l'égalité des valeurs absolues de l'attraction et de la répulsion qu'on produit en faisant passer alternativement en deux sens opposés le même courant dans un conducteur fixe dont on ne change, ni la situation, ni la distance au corps sur lequel il agit.

Le second consiste dans l'égalité des actions exercées sur un conducteur rectiligne mobile par deux conducteurs fixes situés à égale distance du premier, et dont

(1) Mémoires de l'Acad. royale des Sciences de l'Institut de France, t. VI, 1823, p. 194.

l'un est rectiligne, l'autre plié et contourné d'une manière quelconque, quelles que soient d'ailleurs les sinuosités que forme ce dernier, pourvu qu'elles restent très-rapprochées de la ligne droite qui joint les deux extrémités du conducteur sinueux.

Le troisième consiste en ce qu'un circuit fermé, de forme quelconque, ne saurait mettre en mouvement une portion quelconque d'un fil conducteur formant un arc de cercle dont le centre est sur un axe fixe, autour duquel il peut tourner librement, et qui est perpendiculaire au plan du cercle dont cet arc fait partie (1).

Enfin le quatrième cas d'équilibre a servi à M. Ampère à démontrer que l'action d'un conducteur rectiligne indéfini sur une portion aussi petite qu'on le veut d'un conducteur rectiligne parallèle, est en raison inverse de la distance des deux conducteurs; d'où il suit que celle de deux éléments de courants, quand on les éloigne ou on les rapproche l'un de l'autre, sans rien changer aux angles qui en déterminent la position respective, est en raison inverse du carré de leur distance.

347. M. Ampère a expliqué ensuite comment on peut déduire rigoureusement de ces quatre cas d'équilibre la formule qui exprime l'action mutuelle de deux éléments de courant.

Il a trouvé que cette action pouvait être représentée par la formule

$$\frac{-2\,ii'}{\sqrt{r}}\cdot\frac{d^2\sqrt{r}}{ds.\,ds'}\cdot ds.\,ds',$$

dans laquelle ii' désignent les rapports des intensités des deux courants donnés à l'intensité du courant pris pour unité; ds, ds' les longueurs des éléments de chacun de ces courants; r la longueur de la droite qui joint leurs milieux.

---

(1) Mémoires de l'Acad. royale des Sciences de l'Institut de France, t. VI, 1823, p. 185.

Nous ferons observer que l'action de deux éléments, qui est en raison inverse du carré de la distance, lorsque les angles qui déterminent les positions respectives des deux éléments ne changent pas, est la même que celle qui a été trouvée par M. Laplace, pour exprimer l'action mutuelle d'un élément de conducteur voltaïque et d'une molécule magnétique.

348. M. Ampère en a déduit les deux composantes de cette force, dont l'une, tangente à l'élément ds, a pour expression

$$\tfrac{1}{2}\, ii'\, ds'\, d\left(\frac{\cos.^2 \theta}{r}\right),$$

et dont l'autre, qui est normale au même élément, est égale à

$$\tfrac{1}{2}\, ii'\, ds'\, \text{tang.}\, \theta d\left(\frac{\cos.^2 \theta}{r}\right),$$

θ étant l'angle compris entre la direction de l'élément ds' et celle de la droite r.

En appliquant ces formules à différents cas et intégrant, on trouve la valeur de la force cherchée.

349. M. Ampère a calculé l'action qu'un circuit MON (fig. 59), formant un secteur dont les côtes comprennent un angle infiniment petit, exerce sur un conducteur rectiligne OS', passant par le centre o du secteur. Pour y arriver, il a d'abord calculé celle d'un élément MNPQ de l'aire de ce secteur, sur un élément M'N' du conducteur CS'; en faisant $OM = u$, $MP = du$, $OM' = s'$, $MM' = r$, $S'ON = \varepsilon$, $NoM = d\varepsilon$, il a trouvé que le moment total de MNQP, pour faire tourner M' autour de O, a une valeur qui est exprimée par

$$-\frac{\tfrac{1}{2}\, ii'\, d\varepsilon}{\sin.^2 \varepsilon} \iint \frac{d^2 r\, du\, ds'}{du\, ds'}.$$

350. Il a donné successivement les formules qui expriment l'action que deux courants, rectilignes non situés dans le même plan, exercent l'un sur l'autre, soit pour se mouvoir parallèlement à leur commune perpendiculaire, soit pour tourner autour de cette droite.

Soient AU, A'U' (fig. 60) les deux courants, AA' $= a$, leur perpendiculaire commune; AV une parallèle à A'U'; l'action de deux éléments situés en M et M' a pour expression

$$\tfrac{1}{2}\, ii'\, ds\, ds' \left(\frac{\cos.\,\varepsilon}{r^2} + \frac{r.\, d^2\,\frac{1}{r}}{ds\, ds'}\right),$$

et celle des deux courants dans toute leur étendue

$$\tfrac{1}{2}\, a\, ii' \left(\tfrac{1}{r} + \cos.\,\varepsilon \iint \frac{ds\, ds'}{r^3}\right).$$

Le moment total de rotation autour de la commune perpendiculaire est exprimé par

$$ii' \left(q \sin.\,\varepsilon - r \cot.\,\varepsilon - \frac{a^2}{\sin.\,\varepsilon} \iint \frac{sds'}{r^3}\right).$$

351. M. Ampère s'est occupé ensuite de l'action des solénoïdes construits comme il a été dit précédemment. Concevons dans l'espace une ligne quelconque M*mo* (fig. 61), entourée de courants électriques, formant de très-petits circuits autour de cette ligne, dans des plans infiniment rapprochés, qui lui soient perpendiculaires, de manière que les aires comprises dans ces circuits soient toutes égales entre elles, et représentées par λ, que leurs centres de gravité soient sur M*mo*, et qu'il y ait partout la même distance, mesurée sur cette ligne, entre deux plans consécutifs; désignons par g cette distance, qui est infiniment petite : on est conduit à une formule qui montre que l'action d'un solénoïde indéfini sur un élément est perpendiculaire à la droite qui joint

le milieu de cet élément à l'extrémité du solénoïde; et comme elle l'est aussi à l'élément, il s'ensuit qu'elle est perpendiculaire au plan mené par cet élément et par l'extrémité du solénoïde.

On obtient ensuite pour la valeur de la résultante

$$\frac{\lambda\, ii'\, ds'\, \text{sin.}\, \varepsilon}{2\, g\, l'^2};$$

ε représente l'angle bAL′ et l' la distance AL′. Cette formule nous montre que l'action qu'un solénoïde indéfini, dont l'extrémité est en L′ (fig. 61), exerce sur un élément ab, est normale en A au plan bAL′, proportionnelle au sinus de l'angle bAL′, et en raison inverse du carré de la distance AL′, et qu'elle reste toujours la même, quelles que soient la forme et la direction de la courbe indéfinie L′L″, sur laquelle on suppose placés tous les centres de gravité des courants dont se compose le solénoïde indéfini.

352. M. Ampère est passé de là au cas d'un solénoïde défini (fig. 61), dont les deux extrémités sont situées à deux points donnés L′, L″; il a supposé pour cela un second solénoïde indéfini, commençant au point L′ du premier, et coïncidant avec lui depuis ce point jusqu'à l'infini, ayant ses courants de même intensité, mais dirigés en sens contraire. L'action du solénoïde fini sera donc la même qu'exercerait la réunion des deux solénoïdes indéfinis, et se composera de la force dont on vient de donner l'expression, et d'une autre force agissant en sens contraire, passant de même par le point A, perpendiculaire au plan bAL″, et ayant pour valeur

$$\frac{\lambda\, ii'\, ds'\, \text{sin.}\, \varepsilon''}{2\, g\, l''^2};$$

ε'' étant l'angle bAL″, et l'' la distance AL″, l'action totale du solénoïde L′L″ est la résultante de ces deux forces, et passe, comme elle, par le point A.

La question relative à l'action d'un solénoïde défini se trouve par là ramenée à celle du solénoïde indéfini.

353. M. Ampère a été conduit par le calcul à ce résultat, que l'action mutuelle de deux solénoïdes indéfinis a lieu suivant la droite qui joint l'extrémité de l'un à l'extrémité de l'autre. En désignant par λ' l'aire des circuits formés par les courants du second solénoïde, g' la distance entre les plans à deux de ces circuits, qui se suivent immédiatement, l la distance des extrémités des deux solénoïdes indéfinis, on a pour leur action mutuelle,

$$-\frac{\lambda\lambda' ii'}{2gg'l^2}.$$

Cette expression nous montre que l'action mutuelle de deux solénoïdes indéfinis s'exerce en raison inverse du carré de la distance l. Si l'un des solénoïdes est défini, on le remplace par deux solénoïdes indéfinis; l'action se trouve alors composée de deux forces, l'une attractive, l'autre répulsive, dirigées suivant les droites qui joignent les deux extrémités du premier à l'extrémité du second. Quand on a deux solénoïdes définis $L'L''$, L_1L_2 (fig. 62), il y a quatre forces qui agissent suivant les droites $L'L_1$, $L'L_2$, $L''L_1$, $L''L_2$, qui joignent leurs extrémités deux à deux. S'il y a répulsion suivant $L'L_1$, il y aura attraction suivant $L'L_2$ et $L''L_1$, et répulsion suivant $L''L_2$. Toutes les propriétés des solénoïdes sont tellement importantes pour la théorie de l'électro-dynamique, et du magnétisme en général, que nous croyons devoir résumer celles qui ont été déduites du calcul par M. Ampère.

354. Les portions contiguës d'un même solénoïde s'attirent, attendu que leurs courants sont dirigés dans le même sens. Lorsque deux solénoïdes indéfinis ont leurs axes sur une même ligne droite, l'action qu'ils exercent l'un sur l'autre est dirigée suivant cette droite, en raison inverse du carré de la distance; cet effet résulte de ce que les deux portions séparées d'un cylindre électro-

dynamique, par un plan perpendiculaire à l'axe, s'attirent l'une l'autre.

L'action ne change pas, quand bien même les deux solénoïdes viendraient à tourner autour de leurs pôles supposés fixes, et que l'on aurait donné à leurs axes une courbure quelconque, pourvu que le rayon des cercles et leur distance respective restassent les mêmes. On conclut de là que deux solénoïdes, dont les pôles inverses sont en regard, s'attirent suivant la droite qui joint leurs pôles avec une force qui agit en raison inverse du carré de la longueur de cette droite.

Un solénoïde défini peut toujours être considéré comme la différence de deux solénoïdes qui ont leurs courants dirigés en sens contraire. De là il résulte que l'action d'un solénoïde défini ne dépend que de la position de ses extrémités, et nullement de la forme de son axe. On peut donc remplacer un solénoïde quelconque par un cylindre ayant les mêmes pôles, et dont l'axe serait la droite qui joint ces pôles.

M. Ampère a démontré encore par le calcul : 1° que si l'on joint les deux extrémités A′B′ (fig. 63) d'un solénoïde, le solénoïde fermé qui en résulte est sans action, soit sur un autre solénoïde, soit sur un élément de fil conducteur; 2° que l'action d'un solénoïde indéfini quelconque (fig. 64), ayant son pôle en A, sur un élément mm', se réduit à une force perpendiculaire du plan du secteur A mm', laquelle passe par le point I, milieu de mm; mais l'intensité de cette force, pour une distance AI, est proportionnelle au sinus de l'angle AI m', et en raison inverse du carré de la distance AI. Cette loi est précisément la même que celle que M. Biot a trouvée pour l'action d'un élément de courant sur le pôle d'un aimant, quand le courant parcourt une ligne brisée.

355. M. Ampère a prouvé, en partant de la formule qui exprime l'action mutuelle de deux éléments de courants électriques, que l'on peut substituer à certains assemblages des courants moléculaires dans les aimants, des

forces qui ne dépendent que de la situation de deux points déterminés de ce système, et qui jouissent de toutes les propriétés des forces qu'on attribue aux molécules de fluide austral et de fluide boréal, dans l'explication des phénomènes magnétiques. Or, ajoute M. Ampère (1) « les partisans de cette dernière doctrine ad- « mettent : 1° que l'action mutuelle de deux éléments « magnétiques se compose de quatre forces, deux attrac- « tives, et deux répulsives, dirigées suivant les droites « qui joignent les deux molécules d'un de ces éléments « aux deux molécules de l'autre, et dont l'intensité soit « en raison inverse du carré de ces droites ; 2° que lors- « qu'un de ces éléments agit sur une portion infiniment « petite de fil conducteur, il en résulte deux forces per- « pendiculaires aux plans passant par les deux molécules « de l'élément, et par la direction de la petite portion « du fil, et qui sont proportionnelles au sinus des an- « gles que cette direction forme avec les droites qui en « mesurent les distances aux deux molécules, et en rai- « son inverse des carrés de ces distances. Tant qu'on « n'admet pas la manière dont je conçois l'action des « aimants, et tant qu'on attribue ces deux espèces de « forces à des molécules d'un fluide austral et d'un « fluide boréal, il est impossible de les ramener à un « seul principe ; mais dès qu'on adopte ma manière de « voir sur la constitution des aimants, on voit par les « calculs précédents, que ces deux sortes d'actions, et les « valeurs des forces qui en résultent, se déduisent immé- « diatement de ma formule, et qu'il suffit, pour trouver « ces valeurs, de substituer à l'assemblage de deux molé- « cules, l'une de fluide austral, l'autre de fluide boréal, « un solénoïde dont les extrémités, qui sont les deux « points déterminés dont dépendent les forces dont il « s'agit, soient situées précisément aux mêmes points où

(1) Mémoires de l'Académie des Sciences de l'Institut, 1833, t. VI, p. 278.

« l'on supposerait placées les molécules des deux fluides;
« dès lors deux systèmes de très-petits solénoïdes agi-
« ront l'un sur l'autre, d'après ma formule, comme
« deux aimants composés d'autant d'éléments magnéti-
« ques que l'on supposerait de solénoïdes dans ces deux
« systèmes ; un de ces mêmes systèmes agira aussi sur
« un élément de courant électrique, comme le fait un
« aimant, et par conséquent tous les calculs, toutes les
« explications fondés, tant sur la considération des forces
« attractives et répulsives de ces molécules, en raison
« inverse des carrés des distances, que sur celle des forces
« révolutives entre une de ces molécules et un élément
« de courant électrique, dont je viens de rappeler la loi
« telle que l'admettent les physiciens qui n'adoptent pas
« ma théorie, sont nécessairement les mêmes, soit qu'on
« explique comme moi, par des courants électriques,
« les phénomènes que produisent les aimants dans ces
« deux cas, ou qu'on préfère l'hypothèse des deux fluides.
« Les preuves sur lesquelles j'appuie ma théorie, résul-
« tent surtout de ce qu'elle ramène à un principe unique
« trois sortes d'actions, que l'ensemble des phénomènes
« prouve être dues à une cause commune, et qui ne peu-
« vent y être ramenées autrement. En Suède, en Alle-
« magne, en Angleterre, on a cru pouvoir les expliquer
« par le seul fait de l'action mutuelle de deux aimants,
« tel que Coulomb l'avait déterminé; les expériences
« qui nous offrent des mouvements de rotation continue,
« sont en contradiction manifeste avec cette idée. En
« France, ceux qui n'ont pas adopté ma théorie, sont
« obligés de regarder les trois genres d'action que j'ai
« ramenés à une loi commune, comme trois sortes de
« phénomènes absolument indépendants les uns des au-
« tres. Il est à remarquer, cependant, qu'on pourrait dé-
« duire de la loi proposée par M. Biot, pour l'action
« mutuelle d'un élément de fil conducteur, et de ce qu'il
« appelle une molécule magnétique, celle qu'a établie
« Coulomb, relativement à l'action de deux aimants; si

« l'on admettait qu'un de ces aimants est composé de « petits courants électriques, tels que ceux que j'y con- « çois ; mais alors, comment pourrait-on ne pas admettre « que l'autre est composé de même, et adopter, par con- « séquent, toute ma manière de voir? »

356. M. Ampère, après avoir découvert par l'expérience l'action qu'exerce la terre sur les fils conducteurs, a montré, au moyen de la formule qui exprime l'action mutuelle de deux éléments de courants, que la première est identique dans toutes les circonstances qu'elle présente, à celle qu'exercerait sur ces mêmes fils un faisceau de courants électriques, dirigés de l'est à l'ouest ; il a appliqué ensuite sa savante analyse aux actions qu'un circuit fermé, quelles que soient sa forme, sa grandeur et sa position, exerce, soit sur un solénoïde, soit sur un autre circuit d'une forme, d'une grandeur et d'une position quelconques. Le principal résultat de ces recherches, consiste dans l'analogie qui existe entre les forces produites par ce circuit, soit qu'il agisse sur un autre circuit fermé, ou sur un solénoïde, et les forces qu'exerceraient des points dont l'action serait précisément celle qu'on attribue aux molécules de ce qu'on appelle fluide boréal et fluide austral : ces points étant distribués sur des surfaces terminées par des circuits, et les extrémités du solénoïde étant remplacées par deux molécules magnétiques d'espèces opposées, M. Ampère en a déduit le théorème suivant : L'action mutuelle de deux circuits solides et fermés, ou celle d'un circuit solide et fermé, et d'un aimant, ne peut jamais produire de mouvement continu avec une vitesse qui s'accélère indéfiniment jusqu'à ce que les résistances et les frottements des appareils rendent cette vitesse constante. Il a démontré aussi l'impossibilité de produire un mouvement indéfiniment accéléré par l'action mutuelle d'un circuit électrique, solide et fermé, et d'un aimant. Cette démonstration n'est pas seulement une suite nécessaire de sa théorie, mais elle résulte aussi, dans l'hypothèse, des couples primitifs de la valeur donnée par M. Biot, pour

la force perpendiculaire au plan qui passe par l'élément du courant et la molécule magnétique.

Quant au mouvement de rotation qui a été découvert par M. Faraday, M. Ampère le regarde comme une conséquence nécessaire des lois qu'il a établies sur l'action mutuelle des conducteurs voltaïques, et de la manière dont il a considéré les aimants comme des assemblages de courants électriques. Il a démontré par là que la direction de l'action exercée par le pôle d'un aimant sur un élément du fil conducteur, passe en effet par le milieu de l'élément, conformément à l'explication qu'il a donnée de cette action, et non par le pôle de l'aimant ; dès lors l'ensemble des phénomènes électro-dynamiques ne peut plus être expliqué par la substitution de l'action des molécules magnétiques australe et boréale, répandues de la manière qu'il l'a expliqué, sur deux surfaces très-voisines, et terminées par les fils conducteurs du circuit voltaïque, à la place de l'action exprimée par la formule qu'exercent les courants de ces fils. Cette substitution ne paraît avoir lieu que lorsqu'il s'agit de l'action des circuits solides et fermés, et sa principale utilité est de démontrer l'impossibilité d'un mouvement indéfiniment accéléré, soit par l'action mutuelle de deux conducteurs solides et fermés, soit par celle d'un conducteur de ce genre et d'un aimant, lorsque l'aimant est mobile.

357. M. Ampère avance avec raison que si l'on veut se faire une idée juste par l'expérience des causes des divers mouvements des aimants, il faut substituer à ces derniers des conducteurs pliés en cercle, parce que cette substitution donne le moyen d'en faire varier les circonstances de différentes manières, qu'il serait le plus souvent impossible d'obtenir avec des aimants, et qui peuvent seules éclaircir les difficultés que présentent des phénomènes souvent si compliqués.

Il combat l'explication qui a d'abord été donnée de l'attraction mutuelle de deux fils conducteurs, laquelle consiste, comme on sait, à supposer que deux fils conducteurs agissent l'un sur l'autre, comme ils le feraient

en vertu de l'action mutuelle d'aiguilles aimantées infiniment petites, tangentes aux sections circulaires qu'on peut faire dans toute la longueur des fils supposés cylindriques. Il fait observer à cet égard, que l'ensemble des petites aiguilles d'une même section devrait former un anneau d'acier aimanté, semblable à celui dont MM. Gay-Lussac et Welter se sont servis pour montrer que cet anneau n'exerce aucune action tant qu'il forme une circonférence entière; mais qu'en le rompant, toutes les parties sont fortement aimantées; or, ce résultat, qui est une suite nécessaire de la théorie des deux fluides magnétiques, comme de celle de M. Ampère, ne peut s'accorder avec l'hypothèse précédente, puisque l'action du fil conducteur serait nulle.

358. M. Ampère comparant sa théorie du magnétisme avec celle qui a été donnée par M. Poisson, ajoute: « Au lieu de substituer à chaque circuit deux surfaces « très-voisines recouvertes, l'une de fluide austral, et « l'autre de fluide boréal, ces fluides étant distribués « comme il a été dit plus haut, on pourrait remplacer « chaque circuit par une surface, sur laquelle seraient « uniformément distribués des éléments magnétiques, « tels que les a définis M. Poisson dans son Mémoire. « M. Poisson, en calculant les formules par lesquelles il « a fait rentrer dans le domaine de l'analyse toutes les « questions relatives à l'aimantation des corps, quelle « que soit la cause qu'on lui assigne, a donné les valeurs « des trois forces exercées par un élément magnétique « sur une molécule de fluide austral ou boréal; ces va- « leurs sont identiques à celles que j'ai déduites de ma « formule, pour les trois quantités A,B,C, dans le cas d'un « très-petit circuit fermé, et plan lorsqu'on suppose que « les coefficients constants sont les mêmes, et il est aisé « d'en conclure un théorème, d'après lequel on voit im- « médiatement: 1° que l'action d'un solénoïde électro-dyna- « mique, calculée d'après ma formule, est, dans tous les « cas, la même que celle d'une série d'éléments magné- « tiques de même intensité, distribués uniformément le

« long de la ligne droite ou courbe qu'entourent tous « les petits circuits du solénoïde, en donnant à chacun « de ces points, aux axes des éléments, la direction « même de cette ligne; 2° que l'action d'un circuit vol- « taïque solide et fermé, calculée de même d'après ma « formule, est précisément celle qu'exerceraient des élé- « ments magnétiques de même intensité, distribués uni- « formément sur une surface quelconque, terminée par « ce circuit, lorsque les axes des éléments magnétiques « sont partout normaux à cette surface. Le même théo- « rême conduit encore à cette conséquence, que si l'on « conçoit une surface renfermant de tous côtés un très- « petit espace; qu'on suppose d'une part des molécules « de fluide austral et de fluide boréal, en quantités éga- « les, distribuées sur cette petite surface, comme elles « doivent l'être pour qu'elles constituent l'élément magné- « tique, tel que l'a considéré M. Poisson, et d'autre part, « la même surface recouverte de courants électriques, « formant sur cette surface de petits circuits fermés dans « des plans parallèles et équidistants, et qu'on calcule « l'action de ces courants d'après ma formule, les forces « exercées dans les deux cas, soit sur un élément de « fil conducteur, soit sur une molécule magnétique, sont « précisément les mêmes, indépendantes de la forme « de la petite surface, et proportionnelles au volume « qu'elles renferment, les axes des éléments magnétiques « étant représentés par la droite perpendiculaire au plan « des circuits.

359. En résumé, voici l'opinion de M. Ampère sur les phénomènes électriques en général : dans l'état actuel de la science, on peut expliquer les phénomènes électro-dynamiques, sans avoir recours à la réaction de l'éther, mis en mouvement par les courants électriques, bien que rien n'autorise à rejeter son intervention.

Les molécules des deux fluides électriques, telles que nous les considérons, produisent, par leurs attractions et répulsions réciproquement proportionnelles au carré

de la distance, tous les phénomènes de l'électricité ordinaire.

Quand les molécules électriques sont en mouvement dans les fils conducteurs, il résulte de leur action mutuelle des forces qui dépendent de la durée des périodes extrêmement courtes comprises entre deux réunions ou deux séparations consécutives, et des directions suivant lesquelles elles s'opèrent. Ces forces sont constantes, quand l'état dynamique des fluides électriques dans les fils conducteurs est devenu permanent.

L'action qui a été reconnue entre la terre et les conducteurs voltaïques ne permet guère de douter qu'il n'existe, dans l'intérieur de notre globe, des courants semblables à ceux des fils conducteurs. Ces courants seraient une des causes de la chaleur propre du globe; ils ont lieu principalement là où la couche oxidée qui l'entoure de toutes parts repose sur un noyau métallique, conformément à l'explication que Davy a donnée des volcans. Ce sont eux qui aimantent les minerais magnétiques et les corps exposés dans des circonstances convenables à l'action électro-dynamique de la terre.

Le même état permanent qui a lieu dans les fils conducteurs existe autour des particules des corps aimantés, et y produit des actions semblables à celles qu'exercent ces fils.

En calculant ces actions d'après la formule qui représente celle de deux éléments de courants voltaïques, on trouve précisément pour les forces qui en résultent, soit quand un aimant agit sur un fil conducteur, soit lorsque deux aimants agissent l'un sur l'autre, les valeurs que donnent les dernières expériences de M. Biot, dans le premier cas, et celles de Coulomb dans le second. C'est la preuve mathématique que les propriétés des aimants sont dues à des courants électriques circulant autour des molécules de l'acier.

§ III. *Observations relatives à la théorie de M. Ampère.*

360. M. Savary, dans un Mémoire communiqué à l'Académie des sciences, le 3 février 1823, s'est attaché à montrer que l'opinion de M. Ampère sur la constitution des aimants ne peut être admise qu'en appliquant sa formule aux courants circulaires et trouvant par le calcul des résultats identiques avec ceux que donne l'expérience.

M. Pouillet ayant démontré que l'action d'un aimant horizontal sur un fil vertical indéfini se réduit à deux forces dirigées dans le plan horizontal perpendiculairement aux lignes qui joignent le fil aux deux pôles de l'aimant, et que ces deux forces sont en raison inverse des distances du fil à ces deux pôles, M. Savary a substitué à l'aimant un cylindre électro-dynamique d'un très-petit diamètre, et a obtenu, pour les extrémités de ce cylindre, exactement le même résultat que les pôles de l'aimant avaient donné ; savoir : que l'action d'un cylindre électro-dynamique sur un élément de courant se réduit à deux forces perpendiculaires aux plans qui passent tous deux par cet élément, et chacun par l'une des extrémités de l'axe du cylindre. Chaque force agit en raison inverse du carré de la distance de l'élément à l'une des extrémités de l'axe du cylindre, et proportionnellement au sinus de l'angle que la ligne, qui joint l'élément et cette extrémité, fait avec la direction du même élément.

361. M. Savary ayant remarqué, d'après Coulomb, que lorsqu'un petit aimant, librement suspendu dans un plan horizontal, où se trouve également un barreau aimanté, leur action mutuelle pouvait être représentée par quatre forces agissant en raison inverse du carré de la distance, et dirigées suivant les lignes qui joignent deux à deux les pôles d'un aimant à ceux de l'autre; en substituant aux aimants des cylindres électro-dynamiques d'un petit

diamètre, il a obtenu un résultat absolument semblable, et cela de quelque manière que les cylindres fussent dirigés dans l'espace. Nous avons vu que M. Biot avait trouvé que l'on représentait assez exactement les inclinaisons de l'aiguille aimantée en différents points du globe, en supposant deux pôles magnétiques, dans ce globe, très-voisins du centre. M. Savary a cherché si l'on ne pourrait pas déduire, au moyen de la formule de M. Ampère, la loi de l'aiguille aimantée, en admettant comme lui, dans l'équateur ou dans des plans très-voisins de l'équateur magnétique, des courants dont le rayon fût assez petit par rapport à celui de la terre. Le résultat des recherches de M. Savary, à cet égard, a été satisfaisant; la loi qu'il a obtenue est la même que celle que M. Bowditch a donnée le premier; savoir : que la tangente de l'inclinaison est double de la tangente de la latitude magnétique. M. Savary a donc cru devoir conclure de ces différents résultats, que des cylindres électro-dynamiques agissent, du moins à des distances un peu grandes par rapport à leur diamètre, comme des aimants dont les pôles seraient situés aux extrémités même de ces cylindres.

362. M. Savary a obtenu encore un autre résultat analytique important. Si l'on plie, suivant une courbe quelconque, l'axe d'un cylindre électro-dynamique d'un très-petit diamètre, de manière que les plans des courants électriques restent perpendiculaires à son axe devenu curviligne, l'action qu'il exercera sur un élément de courant électrique sera précisément la même que celle d'un cylindre électro-dynamique, dont les courants électriques circulaires seraient de même diamètre et de même intensité, et qui auraient pour axe la ligne droite joignant les deux extrémités de la courbe. Il a tiré de là cette conséquence importante : que si un fil d'acier forme une courbe fermée sans aucune solution de continuité, et qu'on le soumette à l'action d'un conducteur voltaïque roulé en hélice autour de ce fil, comme MM. Gay-Lussac et Welter l'ont fait à l'égard d'un anneau d'acier, ce fil ne pourra,

ainsi que l'anneau, exercer aucune action due à son aimantation par ce courant, tandis que les effets de l'aimantation paraîtront dès qu'on le rompra.

Nous devons ajouter que ce dernier résultat a été confirmé par les expériences que Davy et Erman ont faites sur des plaques d'acier au milieu desquelles on avait pratiqué des ouvertures par lesquelles ils ont fait passer un courant électrique assez intense pour leur communiquer cette sorte d'aimantation.

363. M. Faraday, tout en approuvant la théorie de M. Ampère sur la constitution des aimants, a cependant avancé (1) qu'il existait entre les apparences produites par un aimant et celles qui sont dues à un cylindre, les différences suivantes : Le pôle d'un aimant attire le pôle opposé d'une aiguille aimantée dans toutes les directions et positions quelconques, tandis que l'hélice, lorsqu'elle est placée à côté de l'aiguille, presque parallèlement à elle, et que les pôles sont opposés les uns aux autres pour qu'il y ait attraction, si l'on fait mouvoir l'hélice de manière que le pôle de l'aiguille s'approche peu à peu du milieu de l'hélice, il s'opère en général une répulsion avant qu'il ait atteint ce point, et dans une situation où, avec l'aimant ordinaire, il y a attraction. M. Faraday a attribué cet effet au défaut de continuité dans les côtés des courbes ou des éléments des hélices. Il a signalé encore une autre différence, qui consiste en ce que les pôles, dans l'hélice, sont situés à l'extrémité de son axe, et non à quelque distance de cette extrémité comme dans les aimants. M. Ampère a répondu à cette objection que cette différence dans la manière d'agir des hélices et des aimants dépend de la constitution des courants vers le milieu de l'aimant dont il a démontré l'existence.

364. M. Faraday a encore remarqué que les pôles semblables des aimants, quoique se repoussant à distance,

(1) Annal. de Ch. et de Phys., p. 364.

s'attirent cependant l'un l'autre quand ils sont placés fort près. On n'obtient aucune attraction de ce genre avec les pôles de l'hélice. Cette difficulté a été facilement levée par la considération de l'aimantation par influence qui est nulle dans les hélices, où le courant est déterminé par la pile.

Quelques autres différences signalées par ce même physicien ont été facilement expliquées par M. Ampère.

L'habile physicien anglais, dont l'opinion est ici d'un grand poids, ajoute qu'il paraît très-probable que, dans un barreau aimanté, l'acier ou le fer se trouve dans le même état que le fil de cuivre de l'hélice aimanté, et que cet effet n'est peut-être produit, comme l'a établi M. Ampère, que par des courants électriques. Depuis la découverte de l'induction électro-magnétique, il s'est prononcé plus fortement en faveur des courants électriques comme cause productrice des aimants.

D'après l'exposé que nous venons de présenter des phénomènes électro-dynamiques, et des théories qui ont été données pour les expliquer, il est hors de doute que celle de M. Ampère n'ait la préférence sur les autres, puisqu'elle rend compte d'une manière satisfaisante de tous les faits qui ont été observés jusqu'ici.

Cette théorie a reçu un degré de plus de probabilité par le résultat d'une expérience importante qui a été faite par M. Barlow dans le but de montrer l'origine électrique probable de tous les phénomènes du magnétique terrestre. Lorsque nous exposerons ces phénomènes, nous aurons l'occasion de rapporter cette expérience avec tous les détails convenables.

DE

L'ÉLECTRO-CHIMIE.

LIVRE IV.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

365. Dans tous les phénomènes électriques et magnétiques que nous avons décrits jusqu'ici, nous avons supposé que les particules des corps étaient invariablement fixées entre elles, c'est-à-dire que les agents, quels qu'ils fussent, qui donnaient naissance à ces phénomènes, traversaient plus ou moins facilement les corps en passant d'une particule à une autre, ou se mouvaient seulement autour de chacune d'elles, sans troubler sensiblement leur état d'équilibre. Nous avons donc étudié les propriétés physiques qu'acquièrent les corps, quand ils sont soumis à des actions électriques ou magnétiques qui ne paraissent pas déranger leur structure intérieure. Ces propriétés dépendent peut-être des modifications que subit la matière éthérée qui entoure les particules matérielles, et sur lesquelles l'expérience a encore jeté peu de lumières ; mais ces effets de la matière éthérée, qui sont produits dans les espaces intersticiels, ne se bornent pas à faire acquérir aux corps des propriétés physiques, ils peuvent encore séparer leurs particules, les désorganiser, et même les décomposer complétement : ils peuvent donc lutter avec les affinités

pour vaincre en partie leur action et même la détruire complétement. En outre l'électricité n'agit pas seulement comme moyen d'analyse, car on l'emploie encore avec avantage pour opérer la combinaison des corps. L'ensemble de tous ces phénomènes constitue l'électro-chimie, science féconde en applications, qui étend ses ramifications non-seulement dans la chimie et la physique, mais encore dans la plupart des sciences naturelles, qui peuvent y trouver en partie l'origine des forces motrices que la nature inorganique et même la nature organique mettent continuellement en jeu. Nous allons tâcher de présenter cette science avec tous les développements qui peuvent en faire apprécier l'importance.

366. Lorsque deux lames de platine, en communication chacune avec l'une des extrémités d'une pile voltaïque, plongent dans une solution saline, conductrice de l'électricité, le courant électrique qui la traverse réagit sur les parties constituantes de cette solution et en opère la séparation. Voilà le fait général, passons aux détails.

Si l'on plonge dans de l'eau légèrement acidulée deux fils de platine en communication chacun avec l'un des pôles d'une pile voltaïque, des bulles se dégagent à l'extrémité de chaque fil, savoir, du gaz hydrogène du côté négatif et du gaz oxigène du côté positif. Si l'on mesure les quantités de gaz dégagées, on trouve que les volumes sont dans les proportions voulues pour former de l'eau, c'est-à-dire qu'un volume d'oxigène correspond à deux volumes d'hydrogène; ce résultat nous annonce donc que l'eau a été décomposée.

Quand l'eau renferme un sel à base de zinc, de plomb, de cuivre, ou d'un métal facilement réductible, le fil qui communique avec le côté négatif se recouvre de petites aiguilles de zinc, de plomb ou de cuivre, et en général de métal réduit.

On se rend facilement compte des propriétés décomposantes de la pile, en faisant passer le courant dans des solutions de sel neutre colorées par des couleurs bleues végétales; la partie du liquide qui entoure

le sel négatif se colore en vert, et celle qui est contiguë au pôle positif en rouge. Dès lors, on ne peut douter que sous l'influence du courant voltaïque, un acide ne se manifeste du côté positif, et un alcali du côté négatif. Pour mieux étudier la nature des deux principes acide et alcalin qui sont ainsi développés, il faut faire l'expérience de manière à empêcher leur combinaison; on y parvient en versant une solution saline non colorée dans deux capsules de porcelaine, faisant communiquer ensemble les deux capsules avec une mèche d'asbeste ou de coton, et plongeant dans chacune d'elles une lame de platine en communication avec l'une des extrémités de la pile. On ne tarde pas à s'apercevoir que la solution positive devient acide, et la solution négative alcaline. En continuant l'expérience pendant quelque temps, on opère la décomposition entière du sel. Il est donc bien prouvé que lorsque l'on soumet des solutions salines dans l'eau à l'action d'un courant voltaïque, au moyen de lames de platine plongeant dans ces solutions, et en communication avec les deux extrémités de la pile, l'eau ainsi que les sels sont décomposés, l'oxigène et les acides sont transportés au pôle positif, l'hydrogène et les bases au pôle négatif.

Tel est le principe général de la décomposition électro-chimique, dont nous allons nous servir pour étudier une foule de phénomènes importants qui commencent à jeter quelque jour sur les actions chimiques en général. Mais nous commencerons par exposer le pouvoir conducteur des corps pour l'électricité, puis les phénomènes relatifs à la production de la chaleur par l'électricité, qui nous sont nécessaires pour l'intelligence des phénomènes électro-chimiques en général.

CHAPITRE PREMIER.

DU POUVOIR CONDUCTEUR DES CORPS POUR L'ÉLECTRICITÉ.

§ 1er. *Du pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité.*

367. Nous savons déja que les corps, sous le rapport de la conductibilité électrique, peuvent être rangés en deux classes : dans la première se trouvent les corps bons conducteurs; dans la seconde, ceux qui refusent passage à l'électricité.

La première classe peut être divisée aussi en deux autres, l'une renfermant les métaux et le charbon, qui sont les corps les meilleurs conducteurs; et l'autre, les liquides et les dissolutions, ainsi que les substances végétales et animales, qui conduisent l'électricité à un degré infiniment moindre que les métaux. La seconde classe comprend le soufre, le verre, les résines, etc.; mais comme tous ces corps refusent passage au fluide électrique, nous ne nous en occuperons pas pour l'instant.

Nous entendons par faculté conductrice d'un corps pour l'électricité, la propriété dont il jouit de laisser passer plus ou moins d'électricité, relativement à un autre corps de même volume pris pour terme de comparaison.

On a employé divers procédés pour trouver les rapports de conductibilité entre les métaux; nous devons les faire connaître tous, parce que les résultats obtenus

par chacun de ces procédés présentent de grandes différences.

La méthode dont Davy a fait usage consiste à prendre des fils de différents métaux, de même longueur et de diamètres égaux, et de chercher combien chacun d'eux peut décharger de plaques voltaïques, construites suivant la méthode de Wollaston.

Pour s'assurer si un fil décharge entièrement une pile, on ajoute deux autres fils conducteurs en argent aux deux extrémités de cette pile, lesquels viennent plonger dans de l'eau rendue conductrice par l'addition d'un sel ou d'un acide; la communication se trouve donc établie entre les deux extrémités de la pile, d'une part avec le fil dont on cherche le pouvoir conducteur, et de l'autre avec les deux fils d'argent qui plongent dans le liquide. En opérant ainsi, toutes les fois qu'il y avait dégagement de gaz, Davy en concluait que toute la décharge de la pile ne passait pas dans le fil d'essai.

Davy trouva qu'un fil d'argent, de $\frac{1}{220}$ de pouce anglais de diamètre et de 6 pouces de longueur, déchargeait 65 plaques; 6 pouces d'étain, 12 paires; 6 pouces de platine, 11 paires; et 6 pouces de fer, 9 paires, etc. Il soumit ensuite à l'expérience des fils de même métal, mais dont la longueur et le diamètre n'étaient pas les mêmes. Il trouva que les fils de métal, à diamètre égal, avaient un pouvoir conducteur en raison inverse de leur longueur, et que, relativement au diamètre, l'effet était proportionnel à la masse; ainsi, 6 pouces de platine, de $\frac{1}{220}$ de pouce, déchargeaient 10 doubles plaques; 3 pouces, 20 doubles plaques, etc.; et 6 fils, ou un seul de même longueur, mais six fois plus pesant, produisait le même effet.

Davy, en représentant par 100 la faculté conductrice du platine, a trouvé les nombres suivants pour les facultes conductrices de différents métaux :

Argent.....	600	Étain.....	109
Cuivre.....	550	Platine.....	100

Or.....	400	Fer.....	82
Plomb.....	380		

Ces résultats nous montrent déja que les métaux qui conduisent le mieux la chaleur sont aussi ceux qui ont le plus grand pouvoir conducteur pour l'électricité.

La méthode dont Davy a fait usage suppose 1° que chaque plaque fournit au courant la même quantité d'électricité, et que les piles, formées d'un même nombre de plaques, ont la même intensité d'action; 2° qu'une pile est complétement déchargée, par cela même que l'eau n'est plus décomposée par les conducteurs d'argent : or, on sait que les variations qui surviennent à chaque instant dans l'action de la pile empêchent que les résultats soient comparables entre eux, et que l'eau peut être traversée par un courant d'une certaine intensité, sans qu'elle soit pour cela décomposée. Ainsi, tout ce que l'on peut conclure du résultat négatif, c'est que la tension de l'électricité, qui ne passe pas dans le fil d'essai, n'est pas assez forte pour opérer la décomposition de l'eau.

Davy a négligé aussi une autre cause d'erreur, c'est la perte d'électricité qui a toujours lieu quand l'électricité passe d'un conducteur dans un autre. Les fils de métal, dans lesquels il cherchait le pouvoir conducteur, étaient mis en communication avec les fils de platine ou d'argent qui aboutissaient aux deux extrémités de la pile; le courant passait donc tantôt du platine ou de l'argent dans le fer, tantôt dans l'or, etc., ce qui empêchait que les résultats fussent comparables. Les résultats trouvés par Davy n'expriment donc que des différences.

368. Nous avons cherché à déterminer le pouvoir conducteur des métaux, indépendamment des variations qui ont lieu à chaque instant dans la pile; mais la méthode que nous avons donnée ne met pas à l'abri l'expérimentateur, de la perte d'électricité qui a lieu quand le cou-

rant change de conducteur; néanmoins, cette méthode est plus exacte que la précédente.

Supposons qu'on adapte à chacune des extrémités d'une pile deux fils de même métal, de même longueur et de même diamètre; il est évident que si on les fait communiquer deux à deux, on aura deux courants de même intensité, puisque tout sera semblable de part et d'autre. Prenons maintenant deux fils de cuivre, de 20 mètres environ de longueur, de $\frac{1}{3}$ de millimètre de diamètre, et recouverts de soie; enroulons, aussi également que possible, ces deux fils autour du châssis d'un multiplicateur; on aura quatre bouts. Faisons communiquer les deux bouts d'un même fil avec deux des fils en communication avec les extrémités de la pile; il en résultera dans le multiplicateur deux courants électriques, et si les fils sont disposés de manière que les courants cheminent en sens inverse, l'aiguille aimantée éprouvant de leur part des actions contraires et égales, ne sera pas déviée.

L'aiguille aimantée reste effectivement stationnaire toutes les fois que les courants, qui cheminent en sens contraire, sont parfaitement égaux; mais cette condition n'est pas remplie immédiatement, parce qu'il est impossible que tout soit identique dans les deux circuits. Pour obtenir l'égalité d'action, on prend un des deux fils plus long que l'autre. Soient P et N (fig. 65) les deux pôles d'une pile; GG′ un multiplicateur; Pa et Pd, Nc et Nb, les quatre fils qui partent de ces pôles, et qui se rendent dans quatre capsules a, b, c, d, remplies de mercure, et dans lesquelles plongent aussi les quatre bouts de fil ag, bf, cg et df, croisés de manière à produire deux courants égaux et dirigés en sens contraire. Supposons, en outre, que les distances ab, cd soient égales, et que de l'intérieur des capsules s'élèvent quatre petites pinces que l'on peut serrer avec un anneau. Si l'on fait communiquer a et b, c et d avec deux fils de même métal, égaux en longueur et en grosseur, que l'on fixe dans les pinces, l'aiguille aimantée n'est pas

déviée de sa position d'équilibre, puisque les courants partiels qui passent par ab et cd étant égaux en intensité, les deux autres, qui parcourent les grands circuits, le sont également. Cet état d'équilibre subsiste, quelles que soient les variations qui surviennent dans la charge de la pile; mais si l'un des fils ab ou cd est plus court que l'autre, il laisse passer plus d'électricité, et alors l'équilibre est rompu dans le système; l'aiguille est déviée, et le sens de la déviation indique quel est le fil ab ou cd qui laisse passer le plus d'électricité.

Ces résultats n'étant comparables qu'autant que la température est la même dans les différents fils, puisqu'elle modifie leur conductibilité, on les tient constamment dans un mélange d'eau et de glace.

Supposons maintenant qu'on ait joint a et b avec un fil de cuivre, de 1 décimètre de long et d'un diamètre quelconque, l'expérience prouve que, pour maintenir l'aiguille aimantée en équilibre, il faut joindre c et d avec deux fils de cuivre de même diamètre et d'une longueur double, ou bien, avec trois fils de même diamètre et d'une longueur triple, etc. Ainsi, pour obtenir la même conductibilité dans deux fils de métal, il faut que leurs poids soient proportionnels aux carrés de leurs longueurs, ou bien que les longueurs soient dans le rapport des sections des fils. Cette loi, qui paraît rigoureuse pour toutes les longueurs et grosseurs de fil, rentre dans celle qui a été observée par M. Davy.

369. Il est facile de vérifier la loi précédente, dans le cas où deux fils de même métal sont inégaux en longueur et en diamètre. Soit l la longueur du premier, P son poids, l' et P' la longueur et le poids du second : quand la conductibilité est la même, on a

$$\frac{P'}{P} = \left(\frac{l}{l'}\right)^2;$$

or, nous avons trouvé qu'un fil de cuivre de 110 mill.

pesant 0,427, et un autre de 34 mill. pesant 0,040, avaient le même pouvoir conducteur. On a donc

$$\frac{P'}{P} = \frac{0,427}{0,040} = 10,67,$$

et

$$\left(\frac{l'}{l}\right)^2 = \left(\frac{110}{36}\right)^2 10,63.$$

La différence entre ces résultats est assez petite pour qu'on puisse l'attribuer aux erreurs de l'expérience : la loi se trouve par là vérifiée complétement.

La conductibilité électrique croît donc, pour le même métal, avec les masses et non avec les surfaces; par conséquent, le fluide électrique en mouvement ne se porte pas à la surface des corps conducteurs, comme lorsqu'il est à l'état statique, mais il se répand dans tout leur intérieur.

370. Appliquons les principes précédents à la détermination du pouvoir conducteur des substances métalliques. Supposons qu'un fil de métal, de cuivre par exemple, de 2 décimètres de longueur et d'un diamètre quelconque, conduise autant d'électricité qu'un fil d'un autre métal, de 1 décimètre de longueur et de même diamètre que le précédent. On en conclura que deux fils du second conduisent autant d'électricité qu'un fil de cuivre de même longueur et de même diamètre. Nous disons alors que le fil de cuivre a un pouvoir conducteur double de l'autre.

Lorsque les métaux peuvent se tirer à la filière, rien de plus simple que de déterminer leur pouvoir conducteur, d'après la méthode précédente; mais lorsqu'ils ne jouissent pas de cette propriété, comme le mercure, le potassium et autres, il faut les introduire dans des tubes de verre parfaitement calibrés, que l'on introduit dans les circuits.

Dans nos expériences, nous avons trouvé qu'un fil de

cuivre, de 61 millimètres de longueur, et un fil de platine, de 10 millimètres, l'un et l'autre de même diamètre, avaient le même pouvoir conducteur; qu'un fil de cuivre, de 13 millimètres, et un fil d'argent, de 1 centimètre, jouissaient aussi du même pouvoir conducteur. Nous en avons conclu que la conductibilité du cuivre était à celle du platine comme 6,1 : 1 ; la conductibilité du cuivre à celle de l'argent comme 1,3 : 1. En représentant par 100 le pouvoir conducteur du cuivre rouge, nous avons formé le tableau suivant, qui renferme le pouvoir conducteur de plusieurs métaux, exprimé en fonction du pouvoir conducteur du cuivre :

Cuivre.....	609	Platine.....	100
Or.....	571	Fer.....	95
Argent.....	447	Plomb.....	50
Zinc.....	174	Mercure.....	21
Étain.....	94	Potassium.....	8

Ces nombres diffèrent beaucoup de ceux qui ont été trouvés par Davy. Nous ferons seulement observer que notre méthode est plus exacte que la sienne.

371. M. Pouillet a déterminé aussi le pouvoir conducteur des métaux par une méthode qu'il n'a pas publiée, et dont nous ne pouvons par conséquent discuter le mérite; nous nous bornerons seulement à donner les résultats qu'il a consignés dans son Traité de physique, tom. II, pag. 315, 3e édition :

Argent à 0,986...	860	Rosette.....	224
Cuivre rouge.....	738	Laiton.....	194
Argent, 1er titre, 0,948.....	656	Fer.....	121
Or fin.....	623	Or à 18 karats...	109
Argent, 2e titre, 0,800.....	569	Platine.....	100

372. M. Pouillet a annoncé que la conductibilité lui a

paru très-exactement proportionnelle à la section des fils, depuis les diamètres les plus fins jusqu'aux diamètres de trois lignes environ, n'ayant pas poussé au-delà les recherches, et que la loi de la raison inverse de la longueur pour le même diamètre ne lui a paru exacte que sous une condition. Nous rapportons ici textuellement le résultat de ses expériences :

« Dans mon appareil, les forces électro-magnétiques « qui servaient de mesure à la conductibilité se trou- « vaient proportionnelles aux tangentes des déviations « de l'aiguille : et, en employant successivement des « longueurs l, l', l'', etc., d'un même fil, les tangentes « t, t', t'', etc., des déviations n'étaient jamais en raison « inverse de ces longueurs; mais elles étaient en raison « inverse de ces longueurs augmentées chacune d'une « même quantité λ; ainsi on avait

$$\frac{\lambda+l}{\lambda+l'}=\frac{t'}{t},\quad \frac{\lambda+l}{\lambda+l''}=\frac{t''}{t''},\quad \frac{\lambda+l'}{\lambda+l''}=\frac{t''}{t'}.$$

« Cette quantité λ, qui restait constante pour les diver- « ses longueurs d'un même fil, changeait avec la nature « de la substance, et, pour chaque substance, elle était « en raison inverse de la section du fil. Il me semble, « par conséquent, que la conductibilité est rigoureuse- « ment en raison inverse de la longueur des fils, pourvu « que l'on tienne compte de la résistance qu'éprouve « l'électricité à traverser le liquide qui sépare les élé- « ments de la pile, et à parcourir les divers conduc- « teurs qui doivent l'amener aux fils qui sont directe- « ment soumis à l'observation. Ainsi, quand on opère, « par exemple, sur un fil d'argent de 1 millimètre de « diamètre, il faut concevoir que tous les conducteurs « dont je viens de parler réduisent la force du courant, « autant que pourrait le réduire un fil d'argent de 1 « millimètre de diamètre, et d'une certaine longueur, « par exemple, de 1 mètre; alors, si l'on force le cou- « rant à passer successivement par deux fils pareils,

« l'un de 1 mètre et l'autre de 2 mètres, les tangentes « des deux actions seront entre elles comme 2 est à 3, « et non pas comme 1 est à 2, qui sont les deux lon- « gueurs véritablement soumises à l'expérience. »

373. Dans la détermination du pouvoir conducteur de chaque métal, on doit faire entrer en considération l'état de pureté de ce métal, car, pour peu qu'il renferme un alliage, ce pouvoir se trouve singulièrement modifié. C'est ainsi que M. Pouillet a trouvé que l'or fin et l'or à 18 karats avaient des pouvoirs représentés par 623 et 109. Quoiqu'on ait lieu de soupçonner une erreur dans l'expérience, en raison de la grande différence entre ces deux nombres, cependant, on ne peut s'empêcher de croire qu'il n'y ait une différence très-sensible.

374. Dans les deux procédés que nous avons décrits, nous avons négligé la perte d'électricité qui a toujours lieu au passage du courant d'un métal dans un autre. Nous allons en indiquer un autre, au moyen duquel on évite cette cause d'erreur. Le multiplicateur à deux fils, dont l'usage est si utile quand il s'agit de comparer deux courants entre eux, va encore nous servir. Prenons deux circuits, composés chacun de tous les fils de métal que l'on veut soumettre à l'expérience; ces fils ayant autant que possible la même longueur et le même diamètre.

Pour former chaque circuit, on enroule les extrémités de chaque fil les uns au bout des autres, ou bien on les met en communication au moyen du mercure. On peut avoir ainsi deux fils mixtes aussi égaux que possible, que l'on met en communication chacun avec l'un des fils du double multiplicateur et les pôles d'une pile, de manière à avoir deux courants dirigés en sens inverse, comme nous l'avons indiqué dans le deuxième procédé. Les courants étant égaux, l'aiguille ne sera pas déviée. Veut-on comparer le pouvoir conducteur d'un métal à celui d'un autre métal ayant le même diamètre, le pouvoir du fer, par exemple, à celui du platine; on agira ainsi : supposons que dans le premier circuit le

fil de platine ait 1 décimètre de longueur, et que celui de fer dans le second ait la même longueur. Si l'on allonge ou si l'on raccourcit l'un ou l'autre, les variations de l'aiguille aimantée indiqueront les changements qui s'opéreront dans la conductibilité du circuit dont on a fait varier la longueur, indépendamment de la perte d'électricité qui a lieu au changement de conducteur, puisque le contact des métaux est toujours le même. Maintenant, faisons varier la longueur du fil de fer, d'un centimètre par exemple; la déviation de l'aiguille aimantée indiquera sur-le-champ les changements qui se seront opérés dans la conductibilité du circuit, toujours indépendamment de la perte d'électricité qui a lieu au changement de conducteur. Rendons au fil de fer sa longueur primitive et faisons varier de la même quantité la longueur du fil de platine dans le même circuit, le rapport des déviations dans les deux cas donnera celui des pouvoirs conducteurs du fer et du platine. Si dans le premier cas l'intensité du courant est représentée par i et dans le second par i', le rapport de conductibilité entre le fer et le platine sera exprimé par $\frac{i}{i'}$.

Cette expérience n'a pas encore été faite, mais je crois que c'est une des méthodes qui peuvent conduire le plus directement à la détermination exacte du pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité.

Nous pensons que lorsque ce pouvoir aura été déterminé avec une grande exactitude, on trouvera peu de différence avec le pouvoir conducteur des métaux pour la chaleur.

On est cependant arrêté par une considération importante, quand on cherche à établir une identité parfaite entre le pouvoir conducteur des corps pour la chaleur, et celui pour l'électricité, c'est que le charbon bien cuit est très-mauvais conducteur de la chaleur, tandis qu'il est bon conducteur de l'électricité. Nous signalons cette anomalie, qui doit attirer l'attention des physiciens.

375. Nous n'avons employé jusqu'ici que l'électricité voltaïque pour la détermination du pouvoir conducteur des métaux; mais on peut se servir aussi de l'électricité qui émane d'une autre source; seulement les résultats ne sont plus comparables avec les autres, attendu que l'électricité, comme nous l'avons déja vu, est plus ou moins apte, suivant son origine, à franchir des circuits plus ou moins conducteurs. L'électricité thermoïque, par exemple, jouit de la propriété de franchir facilement des fils courts à gros diamètres, tandis qu'elle est arrêtée presque entièrement par des fils très-longs à petits diamètres. L'électricité voltaïque traverse, à la vérité, de très-longs circuits, mais sa faculté de transmission varie avec le nombre d'éléments qui entre dans la pile. Nous devons en conclure que, dans ces divers cas, on ne doit pas obtenir le même pouvoir conducteur pour les métaux. Voilà une cause d'erreur qui n'a pas encore été signalée, et qui explique les différences énormes que présentent les résultats obtenus par diverses méthodes. Les nombres obtenus pour les pouvoirs conducteurs des métaux ne peuvent donc être comparables qu'autant que les physiciens font usage de la même source d'électricité.

376. Quoi qu'il en soit, afin d'embrasser la question dans toute sa généralité, nous allons rapporter les résultats auxquels sont parvenus MM. de Cumming, Harris et Christie, qui ont employé chacun des méthodes différentes.

M. Cumming a cherché la loi des intensités au moyen de l'électricité thermoïque. La formule $\frac{D}{\sqrt{L}}$, dans laquelle L désigne la longueur et D une constante, lui a donné des résultats approximatifs (1). Ayant soumis à l'expérience des fils de diverses longueurs, il a eu les résultats suivants : un fil de 8 pieds de long et de $\frac{1}{20}$ de pouce de diamètre a donné une déviation de $15° \frac{1}{2}$; avec

(1) Cambridge, Trans. phil., 1823, p. 63.

un autre de même longueur et de $\frac{1}{37}$, elle n'a été que de $6^{\circ}\frac{1}{2}$; d'où il a déduit D = 1,68. D'autres expériences lui ont donné pour D les nombres 2,58; 1,79; 1,58. La valeur moyenne de D est donc 1,98.

M. Cumming a reconnu que la surface n'entrait pour rien dans la conductibilité électrique, comme nous l'avons déja vu.

Voici le pouvoir conducteur de chaque métal déduit de ses expériences :

Argent.....	176,5	Fer.....	24,3
Cuivre.....	100,0	Étain.....	23,9
Zinc.....	53,	Platine.....	21,6
Or.....	35,2	Plomb.....	16,8

Cette méthode est fautive sous le rapport de l'évaluation de l'intensité des courants; elle suppose que les déviations de l'aiguille aimantée sont proportionnelles aux intensités, ce qui n'a lieu que pour de petits angles.

377. M. Harris (1) a fait usage de la chaleur qui est produite par le passage de l'électricité à travers les conducteurs; procédé qui avait déja été employé par Children. La chaleur qui est ainsi dégagée dans des fils de même longueur et de même diamètre est en raison inverse du pouvoir conducteur. Il a obtenu pour les métaux les nombres suivants :

Cuivre.....	100	Platine.....	20
Argent.....	100	Fer.....	20
Or.....	66,7	Étain.....	16,7
Zinc.....	33,3	Plomb.....	8,3

378. M. Barlow (2), qui s'est occupé aussi de la conductibilité, a annoncé que le pouvoir conducteur variait presque comme le carré de la longueur du fil. Cette loi

(1) Trans. phil., 1817.
(2) Edimb. phil. Journal, 1825.

peut être exacte dans les circonstances où cet habile physicien a opéré; mais nous pouvons assurer qu'en général elle ne l'est pas.

379. Abordons actuellement les recherches de M. Christie sur le même sujet.

Nous avons déja dit que M. Faraday avait cherché à déterminer la différence qui existe entre les métaux sous le rapport de l'intensité des phénomènes électro-magnétiques d'induction, différence qui doit dépendre de la conductibilité. M. Christie (1) s'est livré à de semblables recherches en employant deux hélices, l'une, composée d'un fil de cuivre recouvert de soie, enroulé 65 fois autour d'un cylindre de bois d'un pouce de diamètre; la seconde en fer, exactement semblable à la précédente, mais ayant ses spires dirigées en sens opposé : les deux hélices furent superposées de manière à ce que les spires de l'une, intercalées dans celles de l'autre, se croisassent alternativement. Ayant enlevé le cylindre de bois, il plaça dans l'axe de cette double hélice un cylindre en fer doux recouvert de papier. Les extrémités des fils, bien décapées, furent enroulées l'une sur l'autre pour établir un contact métallique entre elles, et mises ensuite en communication avec le fil d'un multiplicateur, comme l'indique la fig. 66. N est le pôle nord d'un aimant, mis en contact avec le cylindre de fer doux A'B', et B le pôle boréal. La direction des spires de l'hélice de cuivre était telle que, dans la disposition adoptée, l'aiguille supérieure du multiplicateur, du moins son pôle nord, se dirigeait vers l'ouest à l'instant où l'on rendait magnétique le cylindre. Les spires de l'hélice en fer étant dans un sens opposé, l'effet produit aurait été inverse si elle eût agi seule; mais comme les deux hélices fonctionnaient en même temps, on dut avoir une différence dans les effets. L'expérience a montré que le courant produit par induction dans le cuivre ex-

(1) Trans. Philos., 1833, 1re partie, p. 95.

cédait de beaucoup en intensité celui qui est produit sur le fer, comme l'avait déja observé M. Faraday, et même était plus que double.

380. M. Christie, dans la crainte que les spires ne conservassent pas toujours leur position relative, a substitué à l'appareil précédent celui qui est indiqué fig. 67.

A l'instant du contact B'N et A'B, l'aiguille s'est déviée à l'ouest. Au moyen de cette disposition, l'électricité développée dans le cuivre fut obligée de passer dans le fil de fer, et réciproquement celle du fil de fer dans l'autre. Le résultat fut encore le même que ci-dessus. Il en a conclu en outre que le courant excité dans l'hélice en cuivre, quoique plus puissant que celui du fer, perd de sa supériorité par la mauvaise conductibilité du fil de fer, tandis que celui qui est produit dans l'hélice de fer s'écoule facilement dans l'hélice de cuivre, et qu'en raison de cela, les intensités des courants excités dans deux fils sont proportionnelles à leur pouvoir conducteur.

381. M. Christie a encore fait usage d'une autre méthode (fig. 68), qu'il importe de connaître à cause de ses applications : cette méthode a de l'analogie avec celle que nous avons employée nous-mêmes.

Ayant pris quatre fils de 4 pieds chacun, deux de cuivre et deux de fer, il les réunit deux à deux par une de leurs extrémités, un fil de cuivre et un autre de fer ensemble, et mit en communication les bouts C et D avec un multiplicateur, et les bouts C' et D' avec les extrémités d'une hélice multiple composée de onze fils formant chacun 65 tours.

A l'instant du contact ou de la séparation de l'aimant du cylindre de fer, le courant par induction arrivait aux points C' et D' et y produisait des courants partiels dans les fils de cuivre et de fer, lesquels courants étaient nécessairement proportionnels aux pouvoirs conducteurs des métaux; arrivés aux points C et D, les fils CM et DU du multiplicateur étaient parcourus par la différence des deux courants. Cet appareil lui a servi à trou-

ver la loi que suit l'intensité du courant dans des fils de même métal, de longueur ou de diamètre différents, puisqu'il suffit d'allonger ou de raccourcir les fils croisés pour avoir des différences; mais quand il s'agit des intensités propres, il faut avoir égard à une autre considération. M. Christie a remarqué que les effets obtenus varient suivant la manière dont on établit ou l'on rompt le contact de l'aimant avec le cylindre de fer doux; pour éviter cette cause d'erreur, il a adopté un mode invariable de contact ou de rupture, c'est la chute d'un poids de la même hauteur. L'appareil qui remplissait ce but était formé d'une bascule tirée par un poids qu'on lâchait, laquelle, atteignant l'hélice, la dégageait de son contact d'une manière uniforme avec l'aimant. On établit le contact en soulevant l'hélice avec une corde attachée à une poulie. En suivant cette méthode, les effets paraissent plus constants quand on interrompt le contact que lorsqu'on l'établit. Ayant introduit dans le circuit deux fils de cuivre, de 12 pieds chacun de longueur, entre l'hélice et le multiplicateur, tordus ou réunis ensemble avec d'autres fils de cuivre bien décapés, la déviation moyenne a été de 90°,40. Le raccourcissement de 4 pieds de ces fils n'a pas produit de modification sensible. M. Christie n'a obtenu une diminution de 1° que lorsque le contact immédiat des fils avait lieu seulement par le moyen d'un fil fin enroulé autour des bouts d'un gros fil. Nous ne sommes nullement étonnés de ce résultat, attendu que lorsque la déviation est de 90°, il faut une perte considérable dans l'intensité du courant pour diminuer cette déviation de quelques degrés.

382. Pour mesurer l'influence qu'apportent les longueurs des fils dans la conductibilité, M. Christie a fait usage d'une méthode indirecte qui n'est pas exempte d'objections, et dont il serait difficile de donner ici une idée succincte.

Il a trouvé néanmoins que la loi la plus simple est celle de la raison inverse de la longueur, comme

on l'avait déja observé. Quant à la détermination de la loi des intensités dans les fils qui n'ont pas le même diamètre, il a pris des fils dont les diamètres étaient à peu près suivant les nombres 4, 2 et 1, et a mesuré le courant dans des fils de 50 pouces en 50 pouces. Voici les résultats qu'il a obtenus :

	1er FIL diam. =0,1258 de p. Poids d'1 p. = 27,15 gr.	2e FIL diam. =0,0633 de p. Poids d'1 p. = 6,80 gr.	3e FIL diam. =0,0322 de p. Poids d'1 p. = 1,76 gr.
Une longueur de 50 pouces ajoutée à celle qui constitue le circuit.....	Déviation de l'aiguille.	Déviation de l'aiguille.	Déviation de l'aiguille.
.....	..... 133° '	..... 113°35'	..... 76°41'
2e.....	..... 129 08	..... 104 33	..... 63 22
3e.....	..... 124 08	..... 95 40	..... 54 17
4e.....	..... 119 58	..... 89 10	..... 47 45
5e.....	..... 115 55	..... 83 54	..... 42 05
6e.....	..... 112 43	..... 78 35	..... 37 52

En discutant ces résultats et cherchant à les réunir par une équation, M. Christie en a conclu que l'intensité du courant ne varie pas seulement en raison de la section du fil ou de son carré, mais qu'il y a d'autres causes d'aberration qui s'accroissent avec l'augmentation du diamètre. Ayant cependant acquis la preuve que le rapport devait être en raison du carré du diamètre, il a cherché quelle était la cause de la différence observée. Il a cru la reconnaître dans la résistance que l'air oppose à la déviation de l'aiguille du multiplicateur, en raison de l'intensité du courant. Il s'est livré à ce sujet à une discussion dans laquelle nous ne le suivrons pas, et d'où il conclut que l'intensité du courant pour une longueur donnée varie néanmoins comme le carré du diamètre du fil. Dans des fils de diamètre et de longueur différents, l'intensité du courant, ou, en d'autres termes, le pouvoir conducteur, varie en raison du carré du diamètre

et inversement comme leurs longueurs, loi que nous avions déja trouvée.

383. L'appareil (fig. 68) a servi à M. Christie pour comparer entre eux les pouvoirs conducteurs du cuivre, du zinc, de l'étain, du fer et du plomb. Les fils de métal dont il a fait usage avaient $\frac{1}{30}$ de pouce de diamètre, excepté les fils d'or, d'argent, de platine et de cuivre qui n'avaient que $\frac{1}{300}$ de pouce. Chaque longueur était d'abord de 50 pouces. Deux des fils placés en croix, C'D, CD'; puis l'on raccourcissait le fil le moins conducteur, jusqu'à ce qu'il y ait zéro de déviation au multiplicateur placé entre A et B. Voici le tableau des résultats obtenus:

MÉTAUX COMPARÉS SUCCESSIVEMENT ET ÉTANT PRIS COMME MESURE PRIMITIVE.

	Cuivre.	Zinc.	Étain.	Fer.	Plomb.
Cuivre.....	... 100 pouc.	... 52,0....	... 25,5....	... 22,8....	 11,8
Zinc.....	... ...	... 100	... 49,8....	... 42, ...	 22,4
Étain.....	... ...	... ...	... 100	... 89,4....	 52
Fer.....	... ...	... ...	... ...	... 100	 62

Dans les expériences qui ont servi à déterminer ces résultats on a pris des fils de même diamètre, mais de longueur différente; c'est donc par la loi connue des longueurs que les pouvoirs conducteurs ont été déterminés. C'est aussi la marche que nous avons suivie plus de dix ans avant que M. Christie ait traité cette question.

384. On doit à M. Arago un moyen très-simple pour mesurer la conductibilité électrique des métaux. Si un fil de métal, qui part de l'extérieur d'une batterie électrique, se divise en plusieurs autres fils égaux en longueur

et en diamètre, et se réunissent tous ensuite à un même point, il est certain que le fluide électrique se divisera en autant de parties égales qu'il y a de branches dans ce système. En plaçant transversalement sur la partie droite de chaque fil des aiguilles d'acier, puis faisant passer la décharge dans tous ces fils, l'aimantation des aiguilles placées sur le premier fil indiquera l'effet produit par toute l'électricité; tandis que l'aimantation des aiguilles placées sur chaque branche mesurera l'effet produit par un, deux, trois fils, suivant que la décharge parcourra ce nombre de fils. On conçoit maintenant qu'en substituant aux différents fils ramifiés des fils semblables de divers métaux, la décharge électrique s'effectuera dans chacun d'eux en raison de la conductibilité du métal.

Jusqu'ici ce procédé n'a pas encore été mis à exécution.

385. Nous donnons ici le tableau des résultats obtenus pour le pouvoir conducteur des métaux, par les physiciens ci-dessus mentionnés, en représentant celui du cuivre par 100.

DAVY. Électricité voltaïque.	BECQUEREL. Électricité voltaïque.	CUMMINGUE Électricité thermoïque.	HARRIS. Électricité ordinaire.	CHRISTIE. Électricité d'induction.	POUILLET. Électricité d'un seul couple.
Argent. 109,	Cuivre. 100,	Argent. 176,5	Cuivre. 100,	Argent. 15,2	
Cuivre. 100,	Or..... 93,6	Cuivre. 100,	Argent. 100,	Or..... 110,6	
Or..... 73,	Argent. 73,6	Zinc... 53,	Or ... 66,7	Cuivre. 100,	Argent 116
Plomb.. 69,	Zinc... 28,5	Or..... 35,2	Zinc... 33,3	Zinc... 52,2	Cuivre. 100
Platine. 18.	Platine. 16,4	Fer.... 24,3	Platine. 20,	Étain.. 25,3	Or fin.. 84
Fer.... 14,5	Fer.... 15,8	Étain.. 23,9	Fer.... 20,	Platine. 24,5	Fer.... 16
	Étain... 15,5	Platine. 21,6	Étain.. 16,7	Fer.... 22,3	Platine. 13
	Plomb.. 8,3	Plomb. 16,8	Plomb.. 8,3	Plomb.. 12,4	Laiton. 12

De tous ces résultats, il n'y a que ceux qui sont compris dans la seconde et la quatrième colonne qui puissent être comparés; car les autres présentent des diffé-

rences trop considérables. Nous le répétons encore, il en sera toujours ainsi, quand on n'opérera pas avec de l'électricité provenant de la même source.

§ II. *Du pouvoir conducteur des liquides pour l'électricité.*

386. Pour peu que l'on ait expérimenté avec le multiplicateur, on ne tarde pas à s'apercevoir que tous les liquides n'ont pas le même pouvoir conducteur pour l'électricité voltaïque. Les huiles, et en général les corps oléagineux, sont privés de tout pouvoir conducteur, tandis que les acides le possèdent à un haut degré, mais à un degré moindre cependant que les métaux.

Nous devons à M. Marianini une suite de recherches pour la détermination du pouvoir conducteur de l'eau tenant en dissolution des acides, des alcalis ou des sels, comparé à celui de l'eau distillée à la température de trois degrés (Réaumur); quoique sa méthode laisse beaucoup à désirer et ne donne que des différences dans la conductibilité, nous allons cependant la faire connaître, parce que nous n'avons rien de mieux à lui opposer. Lorsque l'on plonge dans l'eau de mer un couple voltaïque ordinaire en communication avec un multiplicateur, au moyen de deux fils de métal, et dans de l'eau distillée un couple semblable, mais d'une surface cinq fois moindre, on obtient des déviations vingt fois plus grandes dans le premier cas que dans le second. Si l'on part du principe que les déviations sont proportionnelles aux conductibilités des liquides et aux surfaces des couples, le pouvoir conducteur de l'eau de mer sera 5 quand celui de l'eau distillée sera 1; ce rapport est précisément le même que celui qui a été trouvé par Cavendish. M. Marianini a employé ensuite des couples qui avaient à peu près la même surface, lorsqu'il a voulu comparer des conductibilités très-différentes. Dans la théorie électro-chimique, telle qu'elle est généralement admise aujourd'hui, la méthode de M. Marianini n'est pas exempte d'erreurs. En effet, l'intensité du cou-

rant doit varier avec l'intensité de l'action chimique; dès lors on ne peut comparer ensemble le pouvoir conducteur de deux dissolutions dans chacune desquelles on plonge deux lames de métal en communication avec le multiplicateur; car si l'un des liquides agit énergiquement sur les deux métaux ou sur l'un d'eux seulement, et que l'autre n'agisse que faiblement, on aura dans les deux cas des effets qui ne devront pas être attribués seulement à la différence de conductibilité des deux liquides, mais encore à une différence dans l'action chimique. Bien plus, la conductibilité du liquide dans lequel a lieu la plus forte action chimique, éprouve des modifications en raison des nouveaux composés qui s'y forment; de plus, les déviations ne peuvent servir à représenter les intensités du courant, lesquelles ne sont pas proportionnelles à l'étendue des surfaces immergées : ainsi, la méthode de M. Marianini ne peut servir tout au plus qu'à donner des différences entre les pouvoirs conducteurs des liquides.

387. Il n'existe jusqu'ici qu'un seul moyen de déterminer avec une certaine exactitude le pouvoir conducteur de chaque liquide, ce serait d'opérer avec le multiplicateur à deux fils, et de se servir de lames de platine ou d'un autre métal non oxidable plongeant également dans les dissolutions. Soient A et B deux vases renfermant l'un de l'eau distillée, et l'autre une dissolution dont on veut comparer le pouvoir conducteur à celui de l'eau : on plonge dans chaque liquide deux lames de platine en communication d'une part avec la pile, de l'autre avec le multiplicateur. Ces communications étant établies de manière à avoir deux courants dirigés en sens inverse, les déviations rapportées à la table des intensités donneront réellement la différence entre les deux courants.

388. Quoi qu'il en soit de ces observations, et faute de mieux, nous rapportons ici les résultats de M. Marianini.

Le pouvoir conducteur croît comme les quantités de sel dissoutes, mais plus lentement quand on approche

du terme de saturation. Ces accroissements ne présentent pas des rapports simples avec les conductibilités des dissolutions; car les pouvoirs conducteurs du sulfate de magnésie, dissous dans 100 ou dans 1000 parties d'eau, sont entre eux :: 24 : 13.

Rapports des conductibilités de différentes dissolutions à celle de l'eau prise pour unité.

(La conductibilité de l'eau de mer est 100.)

Substances dissoutes dans 100 parties d'eau.	
Hydro-cyanate de soude	10,96
Acide hydro-cyanique	18,27
Ammoniaque liquide	26,45
Soude	32,06
Phosphate de potasse	44,74
Surborate de soude	43,31
Phosphate de soude	46,00
Tartrate de potasse et d'antimoine	50,07
Sulfate de zinc	51,64
Chlorate de baryte	53,23
Potasse	55,68
Proto-hydrochlorate de fer	56,53
Nitrate de chaux	57,00
Acétate de potasse	59,02
Nitrate de baryte	60,00
Proto-sulfate de fer	62,26
Tartrate acide de potasse	62,04
Sulfate de magnésie	62,64
Acétate de soude	64,09
Carbonate de potasse neutre	66,07
Chlorate de potasse neutre	68,09
Carbonate de soude	69,02
Acide benzoïque	70,67
Mélanate d'ammoniaque	71,15
Sulfate de soude	74,02
Benzoate de potasse	76,56

Nitrate de potasse	78,03
Sulfate de potasse	80,00
Hydro-chlorate de soude	84,79
Sulfate acide d'alumine et de potasse	85,00
Acide citrique	85,71
Acide acétique	87,00
Tartrate de potasse	92,00
Acide tartrique	98,66
Hydro-chlorate de chaux	110,00
Acide phosphorique contenant un peu d'acide phosphoreux	127,00
Hydro-chlorate d'ammoniaque ferrugineux	136,00
Oxalate de potasse	149,00
Hydro-chlorate d'ammoniaque	150,00
Acétate de cuivre	154,00
Acide hydro-chlorique	164,00
Acide oxalique	179,00
Acide sulfurique	239,00
Deuto-sulfate de cuivre	258,00
Proto-nitrate de cuivre	278,00
Nitrate d'argent	298,00
Hydro-chlorate d'or	307,00
Acide nitrique	358,00
Hydro-chlorate de platine	418,00

Nous voyons que les solutions acides sont celles qui ont le plus grand pouvoir conducteur, tandis que les solutions alcalines et de sels neutres sont celles dont le pouvoir conducteur est le moins fort.

Le pouvoir conducteur des liquides est tellement lié avec sa faculté décomposante, qu'on ne peut guère les séparer l'un de l'autre. Nous aurons plusieurs fois l'occasion de revenir sur cette importante question.

§ III. *De la relation qui existe entre la conductibilité électrique des corps non métalliques à l'état solide, et celle des mêmes corps à l'état liquide.*

389. On savait depuis long-temps que lorsqu'on interpose une légère plaque d'eau glacée dans le trajet d'un courant voltaïque, la transmission de l'électricité est arrêtée; mais on n'a tiré que tout récemment des conséquences générales de cette propriété. M. Faraday (1) ayant pris un vase d'étain, ouvert à l'une de ses extrémités, y plaça, au moyen de liége, une plaque de platine de manière qu'elle ne touchât pas les bords : de l'eau distillée fut versée dans le vase, et congelée avec un mélange de sel et de neige; par ce moyen, de la glace pure et transparente se trouvait interposée entre le platine et l'étain; puis une communication fut établie entre ces deux métaux, d'une part avec une pile, et de l'autre avec un multiplicateur. En employant une pile de 20 à 150 paires de disques de 4 pouces chacun, l'aiguille aimantée ne fut pas déviée. En faisant fondre la glace peu à peu, l'aiguille n'éprouva pas non plus de déviation; elle ne fut sensible que lorsque le degré de température fut assez avancé pour liquéfier une partie de la glace qui touchait la lame de platine : la conductibilité commença dès lors à s'établir.

390. Cette propriété dont jouit l'eau d'être conductrice de l'électricité voltaïque pendant sa liquéfaction, et de cesser de l'être pendant sa congélation, n'est pas particulière à cette substance, comme nous allons le voir (2). Davy avait déja reconnu, en 1801, que nitre, la potasse et la soude, parfaitement desséchés, n'étaient pas conducteurs de l'électricité voltaïque, et le devenaient quand on les liquéfiait par une chaleur élevée.

---

(1) Trans. phil., 1833, 2e partie.
(2) Journal of The royal Institution, 1802, p. 153.

391. M. Faraday a trouvé cette même propriété dans des corps solides à la température ordinaire, mais facilement fusibles, et dont la composition était telle, que sous le rapport des actions électro-chimiques, ils remplaçaient l'eau. Il s'est servi encore d'une batterie voltaïque de 20 paires de plaques et d'un multiplicateur introduit dans le circuit. Il soumit d'abord à l'expérience du chlorure de plomb, qu'il tint en fusion avec une lampe à alcool sur une lame de verre, et dans lequel il introduisit deux fils de platine en communication avec les pôles de la batterie. L'action fut puissante sur l'aiguille aimantée, et le chlorure fut décomposé en même temps rapidement: en éloignant la lampe, les effets disparurent peu à peu. Les chlorures d'argent et de potasse lui ont donné les mêmes résultats, ainsi que les carbonates de potasse et de soude, le sulfate de potasse, le protoxide de plomb, fondus dans des petits vases de platine faisant partie du circuit.

392. M. Faraday a observé que les substances qui s'amollissent avant de se liquéfier n'acquièrent complétement le pouvoir conducteur que lorsque la liquéfaction est entièrement effectuée : le borax en est un exemple.

393. Il faut excepter, des corps qui ne jouissent pas du pouvoir conducteur en se fondant, le soufre, le phosphore, l'iodure de soufre, lé periodure d'étain, l'orpiment, le réalgar, les acides margarique et oléïque mêlés, l'acide acétique cristallisé, le camphre artificiel, la caféïne, la résine, etc. : le perchlorure d'étain, le chlorure d'arsenic et le chlorure hydraté d'étain, n'ont pas un pouvoir conducteur sensible. L'acide borique, quand il est porté à une température très-élevée au moyen de la flamme d'hydrogène, n'affecte pas le multiplicateur et n'est pas non plus décomposé. Le verre ordinaire, chauffé fortement, n'est pas conducteur; mais si l'on soumet à l'expérience des verres dont la quantité de potasse ou de plomb est suffisamment grande, les effets deviennent alors puissants.

La liquéfaction confère donc en général un pouvoir conducteur électrique très-grand à la plupart des substances non métalliques. L'eau paraît être, de tous les corps soumis jusqu'ici à l'expérience, celui dont le pouvoir acquis est le plus faible.

M. Faraday a reconnu que le pouvoir de l'eau est une centaine de fois moins fort que celui des différents oxides, et des chlorures à l'état liquide. Tout porte à croire que l'accroissement de pouvoir conducteur que reçoit l'eau, quand on y ajoute quelques petites quantités de sel, dépend du pouvoir conducteur de ces corps à l'état liquide.

394. Cette propriété des corps d'acquérir le pouvoir conducteur et d'être décomposés quand ils passent de l'état solide à l'état liquide, paraît se rattacher à certaines propriétés de la matière : ce rapprochement n'a pas échappé à la sagacité de M. Faraday, qui s'exprime ainsi à cet égard : « C'est une belle et importante ques-« tion de savoir si la conduction elle-même ne serait pas « une conséquence non de la capacité de décomposition « seulement, mais de l'acte même de la décomposition. « Cette question peut être suivie d'une autre, savoir : Ne « serait-ce pas en enchaînant les particules à leurs places « sous l'influence de l'agrégation, et en prévenant leur « séparation définitive selon la manière nécessaire pour « que la décomposition s'opère, que la solidification « s'oppose à la conduction ? »

395. Bien que lorsque la conductibilité se montre, la décomposition la suit ordinairement, cette règle n'est cependant pas générale, car il existe un corps qui devient conducteur par la liquéfaction, et cependant n'est pas décomposé ; ce corps est le periodure de mercure. Nous ferons remarquer aussi qu'il existe une dépendance mutuelle entre le pouvoir conducteur des corps pour l'électricité et celui pour la chaleur, attendu que dès l'instant qu'un corps devient liquide, il perd en grande partie le pouvoir de conduire la chaleur, tandis qu'il

acquiert à un haut degré celui de conduire l'électricité: l'inverse a lieu à l'état solide.

396. Les observations précédentes permettent de soumettre à l'action décomposante de la pile un grand nombre de corps sur lesquels on n'avait pu jusqu'ici faire agir l'électricité voltaïque. Nous citerons particulièrement les oxides, les chlorures, les cyanures, les sulfo-cyanures, les fluorures et certains composés vitreux. M. Faraday, en soumettant à l'action d'une pile de 10 paires de disques le sel marin, le chlorure de magnésium, le borax, a obtenu le sodium, le magnésium et le bore. Nous reviendrons plus loin sur cette décomposition.

397. Dans les expériences précédentes il n'a été question que des effets produits par l'électricité à petite tension, telle que l'électricité voltaïque; mais M. Faraday a voulu aussi comparer ensemble les pouvoirs conducteurs de l'eau et de sels à l'état solide et à l'état liquide pour de l'électricité à de haute tension. Il s'est servi d'une grande machine électrique, dont le conducteur communiquait à un électroscope à feuilles d'or très-sensible, par l'intermédiaire d'un fil de platine renfermé dans de la glace, tandis que le vase d'étain dont on a déja parlé était uni à un long conducteur métallique se rendant dans la terre : en tournant la machine modérément, les feuilles d'or s'écartèrent un peu; en la tournant rapidement, l'écart fut de deux pouces. Ainsi la glace, qui ne peut conduire aucune portion sensible de l'électricité de la pile, qui surpasse en quantité celle de la machine, laisse passer facilement l'électricité à haute tension.

L'iodure de potassium fondu ayant été introduit ensuite sur le trajet de l'électricité de la machine, quelques tours ont suffi pour écarter les feuilles d'or d'environ $\frac{2}{3}$ de pouce. Ce sel est donc bien meilleur conducteur que la glace.

398. Nous savons que la chaleur diminue le pouvoir conducteur des métaux pour l'électricité à haute tension, et qu'elle augmente celui de plusieurs substances non métalliques. M. Faraday a trouvé que le sulfure d'argent

jouit de cette propriété, que son pouvoir conducteur pour l'électricité à petite tension ou l'électricité voltaïque augmente avec la chaleur.

Lorsqu'un morceau de sulfure d'argent, d'environ un $\frac{1}{5}$ pouce d'épaisseur, est placé entre deux plaques de platine qui terminent les pôles d'une batterie voltaïque de 20 paires de plaques et qu'un multiplicateur se trouve dans le circuit, l'aiguille est légèrement déviée, ce qui annonce déja un faible pouvoir conducteur; mais si l'on élève la température, ce pouvoir augmente jusqu'à un certain degré, l'aiguille se place dans une position fixe, et l'on trouve alors que le sulfure est conducteur comme un métal, puisqu'il peut donner une brillante étincelle avec du charbon.

Le sulfure d'argent naturel ainsi que l'argent rouge présentent le même phénomène. Jusqu'ici le sulfure d'argent est le seul corps que l'on puisse comparer aux métaux relativement au pouvoir conducteur pour l'électricité à faible tension, quand il est chaud.

Quant aux autres sulfures métalliques, tels que le proto-sulfure de fer, le persulfure de fer natif, le sulfure de fer arsenical, le sulfure jaune natif de cuivre et de fer, le sulfure de fer gris artificiel, le sulfure artificiel de bismuth et celui d'étain, ils conduisent tous plus ou moins à froid le courant voltaïque; mais leur pouvoir conducteur ne paraît pas changer quand ils sont chauds.

399. Bien qu'il y ait une extrême dissemblance entre le sulfure d'argent et les gaz ou vapeurs, M. Faraday soupçonne que l'action de la chaleur sur ces corps est du même genre. Effectivement, quand les gaz sont chauffés, leur pouvoir conducteur augmente pour les deux électricités de l'appareil voltaïque, et il est probable que si on les pressait pour les condenser, on augmenterait encore leur pouvoir conducteur. Il semblerait résulter de là que tous les corps conduisent l'électricité de la même manière, les métaux comme l'eau et les gaz, mais à des degrés très-différents. Le pouvoir conducteur est, dans

quelques corps, puissamment augmenté par la chaleur, et diminué dans d'autres, sans qu'on puisse savoir d'où provient cette différence.

§ IV. *Du pouvoir conducteur différent de certains corps pour chacun des deux fluides électriques.*

400. Toutes les expériences qui ont été faites jusqu'ici sur l'électricité tendent à prouver que les phénomènes sont dus à l'existence de deux agents impondérables ou fluides, doués de propriétés contraires. Pour soutenir cette doctrine, on a dû rechercher toutes les circonstances où chacun de ces fluides ne possède pas le même mode d'action et surtout la faculté de parcourir également bien le même corps conducteur.

M. Porret (1) a fait une expérience de ce genre qui est très-curieuse. Ayant pris une petite fiole à médecine, il la coupa en deux dans le sens horizontal, à l'aide d'un fer rouge; la partie inférieure fut partagée dans le sens de sa hauteur en deux parties, et les deux moitiés réunies l'une contre l'autre avec de la cire à cacheter, après avoir placé entre elles une portion de vessie mouillée; de l'eau fut mise ensuite dans chaque cellule. Il plongea dans chacune d'elles une lame de platine en communication avec l'un des pôles d'une batterie de 80 paires; l'eau fut décomposée comme à l'ordinaire, mais la plus grande partie du liquide de la cellule positive fut transportée dans l'autre, comme si elle obéissait à l'impulsion d'un courant du fil positif au fil négatif.

Cette expérience, qui ne réussit qu'autant que l'eau employée est peu conductrice de l'électricité, montre que le fluide positif traverse plus facilement l'obstacle qu'on oppose à sa transmission, que le fluide négatif.

400. L'expérience suivante vient encore à l'appui de la

(1) Annales of Philosophy, juillet 1816.

différence d'action que nous venons de reconnaître dans chacun des deux fluides. On prend deux tubes A et B (fig. 69) que l'on remplit, dans la partie inférieure, d'argile très-fine suffisamment humectée, afin de pouvoir sortir par de petites ouvertures pratiquées dans des bouchons de liége qui ferment les bouts inférieurs, pour peu qu'on les agite.

Ces tubes sont placés verticalement sur les parois d'un vase de verre vv', rempli d'eau ordinaire comme les tubes ; puis l'on plonge dans chacun d'eux une lame de platine en communication avec l'une des extrémités de la pile : on ne tarde pas à voir l'argile sortir par les trous du bouchon du tube positif, tandis que dans l'autre tube rien de semblable n'a lieu. Il faut donc que l'électricité positive exerce sur la matière une force de répulsion plus grande que l'électricité négative, puisqu'elle chasse devant elle les obstacles qu'elle rencontre, ce que ne fait pas l'autre électricité. Cet effet n'a lieu, comme dans l'expérience précédente, que lorsque l'eau est peu conductrice.

401. M. Erman a montré aussi l'inégale conductibilité de certains corps pour les deux électricités ; en atténuant de plus en plus leur force répulsive, il a trouvé un terme où le corps devient isolant pour l'une des deux, et conducteur pour l'autre. Ayant isolé un appareil voltaïque, monté avec une dissolution de sel marin, il fit communiquer chacun de ses pôles avec un électroscope à feuilles d'or très-sensible, également isolé. Bientôt après chaque électroscope manifesta le degré de divergence qui convenait à la force de la pile.

Ayant pris ensuite un prisme de savon alcalin bien sec, il inséra dans un de ses bouts un fil de métal en communication avec le sol ; en touchant l'un des électroscopes avec l'autre bout, la divergence y devint nulle, tandis qu'elle augmenta dans l'autre électroscope ; dans ce cas, le savon se comporta comme corps conducteur par rapport à l'une et à l'autre électricité.

Il fit ensuite communiquer les deux pôles avec le sa-

von au moyen de deux fils de métal, la divergence des deux électroscopes ne fut pas modifiée ; ainsi le savon se comportait ici comme corps non conducteur. Mais en touchant le savon avec un fil de métal en communication avec le sol, le pôle négatif fut déchargé et le pôle positif acquit un excès de force. Le savon ne laissa donc passer que l'électricité négative.

La flamme de l'alcool a présenté des effets semblables, avec cette différence cependant que la disposition conductrice était en faveur de l'électricité positive. Nous devons faire remarquer que la propriété dont il s'agit ne se manifeste qu'autant que la pile a peu d'énergie, car elle est insensible pour des électricités intenses.

M. Biot a trouvé que l'éther sulfurique se comporte comme le savon et la flamme d'alcool. Si l'on place, dans le circuit, un appareil pour la décomposition de l'eau, il n'y a aucun dégagement de gaz, et l'on reconnaît que les deux pôles sont complétement isolés ; mais si l'on touche l'éther avec un fil métallique que l'on tient à la main, on trouve, en appliquant un condensateur à l'un quelconque des pôles de la pile, que ce condensateur se charge complétement comme si l'éther était devenu tout-à-coup conducteur de l'espèce d'électricité qui appartient au pôle où le conducteur est appliqué.

402. M. Erman a publié encore une expérience sur le même sujet, que nous ne devons pas oublier de mentionner, afin d'indiquer de nouveau avec quelle réserve on doit se prononcer sur la cause des phénomènes électriques avant de les avoir bien approfondis.

On place sur un électroscope une lampe aphlogistique de M. Davy, dont le fil de platine est tenu en incandescence tant qu'il se dégage de la vapeur d'alcool de la lampe. On présente au-dessus de la spirale le pôle négatif d'une pile sèche, les deux feuilles d'or divergent aussitôt ; on présente ensuite de la même manière le pôle positif, et il n'y a aucune divergence : ainsi le fil de platine incandescent n'a donné passage en apparence qu'à l'électricité négative. Le contraire a eu lieu,

quand l'électricité a passé d'un fil incandescent dans un autre qui ne l'est pas. M. Erman en a conclu une réciprocité d'action isolante et conductrice du fil incandescent pour chaque fluide. Nous ne croyons pas cette conclusion exacte; en effet, quand on présente successivement à un fil de platine, dont la température a été portée préalablement au rouge par tout autre procédé, les deux pôles d'une pile sèche, ce fil conduit également bien chacune des deux électricités. En outre, d'après les connaissances que nous avons acquises sur les effets électriques qui se produisent dans la combustion des gaz et dans l'élévation de température, la partie de l'air qui environne le fil incandescent de la lampe aphlogistique doit se trouver dans un état positif, et le fil qui est au milieu de la vapeur alcoolique dans un état négatif; de plus, la partie du fil qui est en incandescence doit céder facilement l'électricité positive aux corps adjacents. Cela posé, quand on présente à ce fil le pôle négatif d'une pile sèche, il y a deux motifs pour que l'électricité négative qui en émane neutralise et l'électricité positive de l'air environnant, et celle qui est chassée du fil incandescent. L'électricité négative du fil devenant alors libre, manifeste son action sur l'électroscope. En répétant l'expérience d'une manière inverse, c'est-à-dire en faisant sortir successivement chacune des deux électricités par le fil incandescent, comme celui-ci tend à être négatif, il neutralise l'électricité positive qui arrive, et rend libre celle de l'air ambiant et du bout incandescent : dès lors il se comporte comme s'il livrait passage à l'électricité positive. Il n'est donc pas nécessaire, pour expliquer le phénomène, d'avoir recours à une réciprocité d'action isolante et conductrice dans le fil incandescent, comme l'a fait M. Erman.

403. Un autre phénomène, qui a été étudié par M. Tremery, semble encore prouver que l'une et l'autre électricité ont un pouvoir coercitif inégal. On met en contact une carte à jouer, par ses deux surfaces, avec deux pointes métalliques dirigées parallèlement l'une à l'autre,

comme l'indique la fig. 70. L'une de ces pointes communique avec la surface extérieure d'une forte bouteille de Leyde que l'on tient à la main, et l'on touche l'autre pointe avec le crochet. La décharge s'opère d'une pointe à l'autre en traversant la carte, mais l'on observe que l'endroit où elle est percée est situé vis-à-vis de la pointe négative. En faisant l'expérience dans l'obscurité, on voit l'étincelle passer seulement sur la surface qui est en contact avec le conducteur positif, tandis que l'autre surface reste obscure. Pour rendre permanentes les traces de l'électricité, il suffit de peindre les deux côtés de la carte avec du vermillon ; on trouve alors que la face positive est seule altérée.

Ce phénomène s'explique facilement en admettant que l'air offre moins d'obstacles à l'électricité positive qu'à l'électricité négative. Si cette hypothèse est fondée, il faut qu'en affaiblissant l'influence de la force coercitive et diminuant la densité de l'air interposé on obtienne des effets résultant de cette diminution. Or, M. Tremery, en faisant l'expérience sous le récipient de la machine pneumatique, a trouvé que le trou ou l'endroit percé se rapproche du milieu de l'intervalle des deux pointes à mesure que l'on raréfie l'air. Quand le vide est aussi parfait que possible, le trou est situé au milieu.

404. Nous avons vu précédemment que lorsque des conducteurs positifs et négatifs d'une machine électrique sont armés de pointes métalliques, si l'on fait fonctionner cette machine dans l'obscurité, on observe à l'extrémité de la pointe positive une gerbe de feu accompagnée d'un bruissement très-sensible, tandis qu'à l'autre pointe on ne voit qu'un point lumineux sans production de bruissement. Ces effets peuvent s'expliquer jusqu'à un certain point au moyen des propriétés que nous venons de reconnaître dans chacun des deux fluides; en effet, l'air étant traversé plus facilement par l'électricité positive que par l'électricité négative, la pointe chargée de la première électricité la dissipera en

la lançant autour d'elle; quant à la pointe chargée d'électricité négative, la décharge s'opérera par le contact successif des particules de l'air qui viendront successivement toucher la pointe. La lumière ne sera donc visible qu'au sommet même.

405. Puisque nous en sommes aux propriétés différentes dont jouit chacun des deux fluides, nous devons rappeler ici l'observation intéressante déja mentionnée de M. Delarive, relative à la faculté de l'électricité positive à petite tension de passer plus facilement du platine au zinc dans un couple voltaïque que du zinc au platine, tandis que pour l'électricité négative c'est l'inverse.

CHAPITRE II.

DES PROPRIÉTÉS DONT JOUISSENT LES LAMES OU FILS DE MÉTAL QUI ONT SERVI A OPÉRER DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *Les fils ou lames de métal qui ont servi à des décompositions électro-chimiques possèdent des facultés électriques.*

406. DÉSIRANT donner d'abord tout ce qui est relatif aux conducteurs qui transmettent les courants, nous allons exposer les propriétés électriques qu'acquièrent ces mêmes conducteurs, quand ils ont servi à opérer des décompositions électro-chimiques.

Lorsque deux fils de platine, en communication avec les deux pôles d'une pile, plongent dans une dissolution saline, si au bout de quelques instants on interrompt cette communication en détachant ces fils des extrémités de la pile, et qu'on mette en rapport leurs bouts libres avec le fil d'un multiplicateur, on a un courant dirigé en sens inverse du premier; c'est-à-dire que dans le même liquide, le fil qui avait servi de pôle positif et autour duquel se dégageait l'oxigène, devient le pôle négatif d'un nouvel appareil électrique, qui consiste seulement en deux fils de platine réunis par un de leurs bouts au moyen du fil du multiplicateur, et une dissolution saline dans laquelle plongent les deux autres bouts.

Ce courant secondaire n'est point instantané : sa

durée dépend en partie de l'énergie avec laquelle l'action chimique a eu lieu, c'est-à-dire de la force de la pile.

On l'observe encore avec un seul couple voltaïque, quand le multiplicateur est très-sensible. On prend, à cet effet, deux capsules remplies d'une solution de sel marin, et dans chacune desquelles plonge une lame de platine en communication avec l'un des bouts du fil du multiplicateur ; puis l'on met dans chaque capsule l'une des extrémités d'un couple cuivre et zinc ; on a alors un courant qui va du zinc au cuivre en suivant le fil. Si l'on enlève le couple et que l'on établisse la communication entre les deux liquides avec une mèche de coton, on a un courant dirigé en sens inverse. Un fil de platine, qui plonge dans une solution soumise à l'action d'une pile et dans le sens du courant, acquiert sur-le-champ la polarité électrique.

Les propriétés que nous venons de reconnaître dans les fils de métal qui ont servi à opérer des décompositions n'appartiennent seulement qu'aux parties qui ont été immergées ; car si l'on coupe ces parties et que l'on prenne toutes les précautions possibles pour que celles qui sont au-dessus soient dépourvues des corpuscules étrangers qui adhèrent ordinairement aux surfaces des corps, il n'y aura plus de courant secondaire, quand on plongera dans la dissolution la partie non immergée des fils.

L'intensité du courant secondaire varie en raison du temps pendant lequel les deux fils restent soumis à l'action de la pile, et de la nature des conducteurs qui complètent le circuit. M. Delarive, qui a fait quelques expériences à ce sujet, a obtenu les résultats suivants :

Temps pendant lequel les fils ont fait partie du circuit voltaïque.	Déviation.
1 — minute.	60°.
2 —	65°.
3 —	70°.
4 —	75° à 80°.
5 —	85°.

Ces résultats nous montrent simplement que la faculté qu'acquièrent les lames de platine croît avec le temps pendant lequel elles font partie du circuit voltaïque.

407. L'explication de tous ces phénomènes est facile; prenons deux lames de platine, dont les surfaces soient parfaitement nettes, de telle sorte qu'en les plongeant dans une solution saline neutre, et les mettant en rapport avec un multiplicateur, il n'y ait pas de courant; retirons les lames et mettons-les en contact : l'une, avec la même solution, renfermant un millième de son poids d'acide nitrique, l'autre, avec la même solution, contenant un millième de son poids de potasse caustique; puis replongeons-les de nouveau dans la solution neutre, on aura alors un courant qui ira de la seconde à la première, en suivant le liquide, comme s'il y avait réaction de l'acide sur l'alcali. Cet effet est encore sensible en diminuant encore les quantités d'acide et d'alcali dans la solution saline. Or, quand deux lames de platine font partie d'un circuit voltaïque, dans lequel se trouve une solution saline, qu'arrive-t-il? La surface de la lame positive se recouvre de parties acides et celle de la lame négative de parties alcalines; les deux lames se trouvent donc dans le même état que celles avec lesquelles nous avons expérimenté précédemment; et comme l'effet électrique est le même, nous devons en conclure que la cause est semblable. Ainsi il est inutile d'avoir recours à de nouvelles propriétés du principe électrique pour expliquer des phénomènes très-simples en eux-mêmes.

Des conducteurs tout métalliques traversés par des courants les plus énergiques possibles ne donnent jamais lieu à des courants secondaires, lorsqu'on rompt le circuit pour y introduire un liquide. L'effet n'a donc lieu qu'autant que le circuit renferme un conducteur imparfait capable d'être décomposé. Cette circonstance prouve que l'action chimique joue le principal rôle dans la production du courant secondaire. Nous reviendrons plus loin sur ce phénomène, que nous avons voulu d'abord faire connaître, pour que l'observateur puisse se mettre

en garde contre ses effets, qui luttent sans cesse contre les courants électro-chimiques.

408. Le principe que nous venons de faire connaître nous met à même d'expliquer le mode de formation de piles particulières, découvertes par Ritter, auxquelles on a donné le nom de *piles secondaires*. Pour former une de ces piles, on prend des disques de cuivre et de carton humide, que l'on superpose les uns au-dessus des autres; un disque de cuivre, un disque de carton humide, un disque de cuivre, etc. Cette colonne est incapable par elle-même de se charger, si les surfaces des lames de cuivre sont parfaitement homogènes; mais si l'on met en communication pendant quelques instants ses deux extrémités avec les deux pôles d'une pile, elle prend une charge qu'elle conserve pendant assez de temps et qui est telle qu'il y a inversion dans les pôles, c'est-à-dire que le pôle positif de l'une correspond au pôle négatif de l'autre. Avec la pile secondaire on reproduit, quoiqu'à un moindre degré, tous les effets physiologiques et chimiques de la pile voltaïque.

Ritter, en variant la marche et l'ordre des disques, a reconnu, 1° que l'arrangement dans lequel se trouve le moins d'alternatives, est celui qui est le plus favorable à la circulation du fluide électrique ; si l'on construit, par exemple, une pile avec 64 disques de cuivre et 64 disques de carton mouillés, disposés de manière que les derniers réunis en masse se trouvent entre 32 disques de cuivre, la colonne conduit très-bien l'électricité voltaïque, mais ne prend pas de charge sensible; 2° que le pouvoir conducteur diminue successivement, si l'on intercale un disque, deux disques de cuivre, etc., entre les disques de carton, et que l'on arrive ainsi à un système dans lequel la conductibilité est à peine sensible; 3° qu'avec un très-petit nombre d'alternatives, pour la même charge primitive, le courant passe facilement, mais les effets chimiques et physiologiques sont nuls ; 4° qu'il est nécessaire de multiplier suffisamment les alternatives pour produire ces effets, dont l'intensité

augmente jusqu'à une certaine limite d'alternatives ; passé ce terme, la charge électrique se soutient, mais les phénomènes chimiques et physiologiques s'affaiblissent ; les premiers d'abord.

Dans la pile de Volta, la quantité d'électricité libre croît avec le nombre des couples et balance la résistance des alternatives; tandis que dans l'autre, cette résistance est employée tout entière à modifier l'écoulement d'une même quantité d'électricité.

Voilà les faits : voyons l'explication.

Les disques de cuivre de la colonne de Ritter soumise à l'action d'une pile voltaïque, se trouvent dans le même cas, par rapport aux disques de carton mouillé, que le fil de platine qui est plongé dans une solution saline électrisée, par rapport à cette solution ; dès lors les deux faces de chaque disque de cuivre doivent acquérir une polarité électrique contraire, par suite du transport des éléments acide et alcalin sur chacune d'elles, lesquels éléments transforment le disque en un véritable couple voltaïque; et comme tous les disques de cuivre se trouvent dans le même cas, il s'ensuit que la pile secondaire est une véritable pile voltaïque dont les deux éléments, au lieu d'être métalliques, sont, l'un acide, l'autre alcalin. Cette pile, conformément au principe que nous avons indiqué, doit avoir ses pôles dans un sens différent de celle qui a servi à la charger.

§ II. *Sur le pouvoir des métaux et d'autres corps solides pour opérer la combinaison des substances gazeuses.*

409. Les conducteurs métalliques qui ont servi à des décompositions électro-chimiques ne jouissent pas seulement des propriétés électriques que nous venons de décrire, ils possèdent encore la faculté d'opérer la combinaison des substances gazeuses ; mais pour développer convenablement tous les phénomènes qui en dépendent, nous devons remonter à la découverte de Dobereiner.

Cet habile physicien a observé le premier que le platine en éponge détermine, à la température ordinaire, la combinaison de l'hydrogène avec l'oxigène, et que le développement de chaleur qui en résulte suffit pour rendre le métal incandescent. Pour obtenir cet effet, on présente l'éponge à quelques lignes de distance de l'ouverture par laquelle sort un courant d'hydrogène, là où l'hydrogène est intimement mêlé avec l'air. MM. Dulong et Thénard, qui ont étudié toutes les circonstances de ce phénomène avec le plus grand soin, ont observé les faits suivants : 1° si l'on plonge un morceau d'éponge de platine dans un mélange d'oxigène et d'hydrogène, dans les proportions voulues pour former de l'eau, il y a détonation; si les proportions du mélange s'éloignent beaucoup de celles de l'eau, la combinaison s'effectue lentement; 2° l'éponge fortement calcinée perd la propriété de devenir incandescente, mais conserve celle d'opérer lentement la combinaison des deux gaz; 3° lorsque le platine est réduit en feuilles aussi minces que le comporte la malléabilité du métal, l'action a lieu et avec d'autant plus de force que la lame est plus mince; une feuille de platine très-mince, enroulée sur un cylindre de verre, ne produit aucun effet, tandis que la même feuille détermine la détonation, quand elle est chiffonnée comme une bourre de fusil; 4° la poussière et les feuilles inactives agissent lentement, quand on porte leur température à 2 ou 300 degrés; 5° d'autres métaux jouissent de la même propriété que le platine, en particulier ceux qui se trouvent combinés avec lui; l'or et l'argent en feuilles minces n'agissent qu'à des températures élevées, mais inférieures à celles du mercure; l'argent moins énergiquement que l'or; 6° sous l'influence de l'éponge de platine, l'oxyde de carbone et l'oxigène se combinent, le gaz nitreux est décomposé par l'hydrogène à la température ordinaire; le gaz oléfiant, quand il est mêlé d'une quantité convenable d'oxigène, se transforme complétement en eau et en acide carbonique à une température de plus de 300 degrés; 7° les métaux ne sont pas les seuls corps

qui jouissent de la propriété en question ; le charbon, la pierre ponce, la porcelaine, le verre, le cristal de roche, à des températures moindres que 350 degrés, se comportent comme l'éponge de platine ; 8° la configuration des corps influe tellement sur les résultats, que l'on trouve une différence très-notable entre les quantités d'eau formées dans le même temps, avec des fragments de verre, selon qu'ils sont anguleux ou arrondis ; 9° les liquides ne paraissent pas partager cette propriété. Le mercure en ébullition ne produit même aucun effet mesurable dans l'espace de 6 heures ; 10° des fils de platine neufs, de $\frac{1}{20}$ de millimètre de diamètre, ne s'échauffent pas à la température de l'atmosphère, mais ils jouissent de cette propriété, quand on porte leur température à 300 degrés. En faisant agir le même fil, à plusieurs reprises, il devient actif à 50 ou 60 degrés ; 11° le même fil, plongé pendant quelques instants à froid ou à chaud dans de l'acide nitrique, puis lavé et chauffé, agit à la température ordinaire. Les acides sulfurique et hydrochlorique produisent le même effet, mais à un degré moins marqué, surtout le dernier. Cette propriété se conserve quelques heures à l'air libre, et pendant plus de vingt-quatre heures dans des vases fermés. Un courant d'air atmosphérique d'oxigène, d'hydrogène ou d'acide carbonique sec, la détruit dans le même espace de temps ; 12° les alcalis n'enlèvent pas au fil la propriété qui lui a été communiquée par l'acide nitrique ; 13° de la limaille de platine, nouvellement faite, agit pendant une heure ou deux d'une manière décroissante, mais il suffit pour lui rendre sa faculté de la chauffer au rouge ou de la mettre en contact avec l'acide nitrique.

410. Jusque-là, les physiciens n'avaient pas cherché à rendre actives les lames de platine qui avaient cessé d'agir sur le mélange détonnant, en les soumettant à des influences électriques ; M. Faraday (1) a fait, à ce sujet,

(1) Transact. phil., 1824, p. 55.

une série d'expériences que nous allons rapporter et dont les résultats jettent un grand jour sur les observations intéressantes de MM. Dulong et Thénard. Il a été conduit à faire ces expériences en cherchant à expliquer pourquoi les gaz qui résultent de la décomposition de l'eau, disparaissent peu à peu dans les tubes où on les recueillait. Voici comment on observe ce phénomène :

On fixe deux lames de platine à l'extrémité supérieure d'un tube de verre, que l'on ferme ensuite hermétiquement à cette extrémité, comme l'indique la fig. 69. Ce tube, qui a environ 12 pouces de longueur et trois quarts de pouce de diamètre, est rempli d'une solution étendue d'acide sulfurique et renversé dans une coupe contenant la même solution. L'appareil est mis en communication avec une pile voltaïque pendant un temps nécessaire pour que les $\frac{4}{5}$ du tube soient remplis d'oxigène et d'hydrogène ; supposons qu'il s'en trouve 46 parties, on interrompt alors l'action de la pile; le volume des gaz commence aussitôt à diminuer, et quelques heures après il ne reste plus que 13 parties et demie, qui finissent par disparaître. M. Faraday s'étant assuré que ces effets ne pouvaient provenir de quelque fuite, fut forcé de les attribuer à l'action de l'une ou des deux lames de platine sur les gaz qui les environnaient. Pour savoir laquelle des deux lames agit dans cette circonstance, on les retire et on les introduit chacune dans des tubes séparés contenant un mélange d'oxigène et d'hydrogène; on trouve alors que le pôle positif est celui qui agit le plus efficacement pour effectuer la combinaison des deux gaz.

Pour trouver d'où peut dépendre cet effet, on prend plusieurs plaques de platine (fig. 70) assez minces, de deux pouces et demi de longueur et de demi-pouce de largeur, fixées à l'extrémité de fils de platine, d'environ 7 pouces de long, et des tubes de verre de 9 ou 10 pouces de longueur, gradués et fermés hermétiquement à une de leurs extrémités. On fait passer dans ces tubes remplis d'eau un mélange de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxigène, puis l'on introduit dedans,

après avoir été lavées, les plaques, qui ont été mises en communication avec le pôle positif ou négatif de la pile, par l'intermédiaire d'un liquide.

En soumettant à l'expérience la lame positive, M. Faraday a trouvé que le volume du gaz a commencé aussitôt à diminuer; l'extrémité supérieure est devenue tout-à-fait chaude, sa température s'est élevée suffisamment pour faire entrer l'eau en ébullition. Cette action de la lame positive est plus efficace sur le mélange détonnant que sur tout autre.

Un mélange d'un volume de gaz nitreux et d'un volume d'hydrogène, soumis au même mode d'expérimentation, n'éprouve pas de changement sensible au bout d'une heure, mais 36 heures après il y a une diminution d'environ $\frac{1}{8}$ de volume.

Un mélange de deux volumes d'oxide nitreux et d'un volume d'hydrogène éprouve, au bout de 36 heures, une diminution d'un quart.

Le pouvoir des plaques positives, quoique diminuant graduellement, peut être conservé pendant un temps dont la durée dépend de certaines circonstances. En ajoutant dans les tubes où se trouvent les plaques une nouvelle portion de mélange détonnant, on trouve que leur action continue pendant plus de 30 heures; conservées dans des vases fermés, elles manifestent encore leur action 8 jours après, tandis que celles qui restent exposées à l'air libre la perdent en 12 heures. Une des plaques a conservé sa faculté pendant 40 heures, après être restée pendant 48 heures dans la solution d'acide sulfurique ou une solution de potasse caustique. Les mêmes plaques qui avaient été laissées pendant le même temps dans de l'eau distillée, n'exerçaient qu'une action très-faible, tandis qu'elles conservaient toutes leurs facultés lorsque l'eau avait été distillée deux fois.

M. Faraday a reconnu que plus les plaques étaient soumises à l'action des gaz, plus elles retenaient longtemps le pouvoir d'opérer la combinaison.

Une plaque qui avait cessé de fonctionner avec la

pile, et qui était très-active après avoir été lavée, fut maintenue pendant 12 ou 15 minutes dans de l'eau distillée; son action fut alors si vive, qu'elle détermina l'explosion du mélange détonnant : dans ce cas, l'eau s'était emparée de l'acide qui adhérait à la plaque. Des lames conservent leur propriété après avoir été lavées et essuyées avec du linge ou du papier à filtrer; il en est encore de même quand on les expose à une température rouge, à la flamme d'une lampe à alcool; mais elles deviennent moins actives quand la flamme contient un peu d'acide, ou que la mèche renferme des sels ou d'autres matières étrangères.

La solution d'acide sulfurique n'est pas la seule qui communique à la lame positive la faculté que nous venons de lui reconnaître; l'acide nitrique, l'acide acétique, des solutions d'acide tartrique, citrique, oxalique, produisent également des effets bien marqués. Avec l'acide hydro-chlorique, l'effet est faible. Les solutions neutres de sulfate de soude et de nitrate de potasse se comportent comme les solutions acides. M. Faraday ayant cherché si l'on ne pourrait pas faire acquérir aux plaques négatives le même pouvoir, fit l'expérience suivante : trois plaques négatives, qui étaient restées plongées pendant 4 minutes dans de l'acide sulfurique, furent lavées dans de l'eau distillée et placées dans le mélange détonnant; elles agirent toutes trois, quoique moins fortement que les lames positives; l'effet fut plus marqué quand on les laissa séjourner dans l'eau distillée pendant 10 ou 12 minutes.

411. Ces plaques ayant cessé d'agir quand l'acide renfermait des substances qui pouvaient être précipitées par l'action de la pile, M. Faraday supposa que la propriété dont nous étudions les effets, sur la lame positive de platine, ne dépendait pas essentiellement de l'action de cette pile, mais était inhérente en tout temps au platine, et qu'elle ne se manifestait que lorsque sa surface était parfaitement nette; l'action de la pile ne servirait donc qu'à décaper les surfaces. Pour vérifier cette con-

jecture, il chercha à obtenir les mêmes effets sans employer la pile. Ayant effectivement décapé avec beaucoup de soin une plaque de platine, en la frottant avec un morceau de liége et de l'eau, ou avec tout autre corps, et l'ayant lavée, il la trouva d'abord faiblement active dans le mélange détonnant; mais peu après son action devint plus énergique; l'action cependant ne fut jamais aussi puissante que lorsque les plaques avaient servi de pôle positif à la pile. Cette expérience et d'autres analogues lui permirent de conclure que lorsque la surface du platine est très-nette, elle peut déterminer la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène à la température ordinaire.

Des lames de platine qui n'exercent aucune action deviennent actives en les faisant rougir à la flamme d'une lampe à alcool; d'un autre côté, M. Faraday a reconnu que des plaques non actives qui avaient été chauffées restaient inactives comme avant : il est probable que dans ce cas la surface du métal se trouve salie par des matières qui y adhéraient avant et que la chaleur n'a pas enlevées, ou par des matières provenant de la flamme ou de l'air lui-même.

Des plaques de platine inertes, chauffées dans une solution de potasse caustique, agissent sur le mélange détonnant; mais quelquefois elles sont sans action : ce dernier effet doit se produire toutes les fois que la potasse n'enlève pas les corpuscules qui adhèrent à leurs surfaces. Les acides exercent en général une action plus constante que les alcalis.

Pour faire acquérir au platine la puissance la plus forte, il faut le traiter à chaud d'abord avec la potasse caustique, ensuite avec l'acide sulfurique, puis le laver dans l'eau distillée. L'or et le palladium se comportent comme le platine; le palladium surtout agit rapidement. L'argent et le cuivre ne montrent aucun effet aux températures ordinaires. Peut-être ce résultat négatif tient-il à ce que la surface de ces métaux se couvre rapidement à l'air d'une légère couche d'oxide.

412. Toutes les tentatives que l'on a faites pour reconnaître la présence de l'électricité dans l'expérience de M. Dobereiner et dans celles qui l'ont suivie, ne pouvaient manquer d'être infructueuses. En effet, l'éponge de platine détermine la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène; pendant qu'elle s'effectue, l'oxigène laisse échapper de l'électricité positive et l'hydrogène de l'électricité négative ; ces deux électricités se recombinent par l'intermédiaire du platine : dès lors il est impossible de recueillir de l'électricité libre ni d'observer des courants, puisque ces courants circulent dans toutes sortes de directions autour de l'éponge.

Quelle est donc la nature de cette action qu'exercent les métaux sur les gaz combustibles, pour les forcer d'abandonner leur état élastique? La force qui détermine cette action a un développement progressif, qui agit d'abord plus puissamment dans les parties de la masse métallique où les dimensions sont les plus petites, et ensuite dans la direction des angles et des inégalités qui peuvent exister à sa surface. Cette force doit être de la même nature que celle qui préside aux phénomènes capillaires, chimiques, ainsi qu'aux actions où la force d'agrégation est mise en jeu, etc. Elle est inhérente au métal, et ne dépend ni d'une condition particulière qu'une cause quelconque lui aurait fait acquérir, ni de l'état de ses molécules, puisqu'elle se manifeste lorsque la surface est parfaitement nette; on la retrouve encore dans tous les corps à des degrés plus ou moins marqués, comme l'ont observé MM. Dulong et Thénard.

Ces considérations ont porté M. Faraday à admettre que, dans tous les corps, la sphère d'action des particules s'étend au-delà de celles avec lesquelles elles sont immédiatement combinées, et que cette action produit les effets qui ont été observés pour la première fois par M. Dobereiner, et sur lesquels nous venons de donner de nouveaux développements. C'est elle aussi qui détermine la précipitation de l'eau atmosphérique sur les surfaces des corps qui la retiennent avec force, sans qu'il y ait cependant de combinaison chimique.

M. Faraday résume ainsi son opinion : « Les modifi-
« cations de l'action du platine, quand il opère la com-
« binaison de l'oxigène et de l'hydrogène, peuvent être
« établies selon les principes suivants : sous l'influence
« du défaut de pouvoir élastique et de l'attraction des
« métaux pour les gaz, ces derniers, lorsqu'on les asso-
« cie aux premiers, sont tellement condensés qu'ils se
« trouvent soumis à l'action de leur affinité mutuelle à
« la température ordinaire.

« L'absence du pouvoir élastique n'a pas seulement
« pour effet de les soumettre plus fortement à l'influence
« attractive du métal, mais les amène aussi à un état
« plus favorable pour les unir, en enlevant une partie
« de ce pouvoir d'où dépend leur élasticité, qui, dans
« les masses de gaz, s'oppose à leur combinaison. La con-
« séquence de leur combinaison est la production de la
« vapeur d'eau et une élévation de température; mais
« comme l'attraction du platine pour l'eau n'est pas plus
« grande que pour les gaz, la vapeur est rapidement
« dispersée à travers les gaz restants; de nouvelles por-
« tions de cette dernière viennent donc se juxtaposer
« avec le métal, ainsi de suite. De cette manière l'ex-
« périence avance, et elle est accélérée par le dévelop-
« pement de la chaleur, qui facilite la combinaison en
« proportion de son intensité, de sorte que la tempéra-
« ture est ainsi élevée jusqu'à ce qu'il en résulte de l'i-
« gnition. »

Cette doctrine est empreinte de grandes vues philoso-phiques, mais nous ne voyons pas qu'elle jette beaucoup de lumière sur la question relative à la cause première de tous les phénomènes d'attraction, et en particulier à celle qui produit les effets que nous venons d'étudier; car nous supposons depuis long-temps que les particules d'un corps, après leur combinaison avec les particules d'un autre corps, conservent encore un reste de pouvoir attractif auquel nous attribuons la force d'agrégation et tous les effets qui en dépendent.

Les expériences de M. Faraday sont néanmoins in-

téressantes, puisqu'elles étendent nos connaissances sur une propriété qui a été l'objet des recherches de plusieurs physiciens; elles nous montrent bien que les métaux dont les surfaces ont été décapées par l'action des acides, des alcalis, de la chaleur ou de la pile, manifestent une puissance attractive capable de condenser les gaz et d'opérer la combinaison de ceux qui ont une grande affinité les uns pour les autres; mais elles nous laissent toujours dans l'ignorance sur la cause première du phénomène principal. Il en sera toujours ainsi quand on ne cherchera pas à connaître la nature de la force qui est inhérente aux atomes, et dont l'action constitue l'attraction. Or, nous pensons que la nature de cette force est éminemment électrique, et qu'en partant de ce principe on parvient à soulever une partie du voile qui couvre la plupart des phénomènes moléculaires. Nous consacrerons un chapitre entier à poser les bases de cette doctrine. En attendant, étudions les phénomènes de chaleur qui sont dus au passage de l'électricité dans les corps, parce qu'ils doivent servir de base à toute théorie électro-chimique, et tâchons d'en tirer quelques inductions sur la cause de la chaleur en général. Mais comme ces phénomènes se lient à la perte qu'éprouvent les courants quand ils passent d'un conducteur dans un autre ou qu'ils cheminent dans un corps d'une certaine étendue, exposons d'abord tous les principes qui peuvent nous conduire à la solution de cette question.

CHAPITRE III.

DE LA CHARGE DE LA PILE.

§ 1er. *Des effets de tension de la pile.*

413. Nous avons commencé à parler de la tension de la pile dans le second volume (pag. 143-153), en annonçant l'intention d'y revenir quand nous nous occuperions des phénomènes électro-dynamiques. Nous avons maintenant tous les documents nécessaires pour en reprendre la discussion, et la continuer aussi loin que le permet l'état actuel de la science.

L'action chimique paraissant être la cause déterminante du dégagement de l'électricité dans la pile, c'est à cette cause que nous devons nous attacher pour étudier tout ce qui s'y rapporte.

Nous savons que lorsque les deux fluides électriques sont séparés l'un de l'autre par le seul fait de l'action chimique, ils tendent toujours à se réunir pour former du fluide neutre en suivant tous les corps conducteurs qui se présentent à eux. Cette recomposition a lieu en plus ou moins grandes proportions, suivant la nature et la conductibilité de ces conducteurs. La quantité d'électricité qui reste libre sur chacun des corps, et qui constitue sa tension, se trouve donc dépendante de la plus ou moins grande facilité que possède l'électricité à passer d'un corps dans l'autre : c'est cette quantité qui échappe à la recomposition pendant le temps que s'ef-

fectue le dégagement de l'électricité. On arrive ainsi à une limite, qui est constante tant que les conditions de l'action chimique ne sont pas changées.

Voilà bien ce qui se passe dans un couple, mais en est-il encore de même dans une pile composée de la réunion de plusieurs couples? On peut répondre hardiment que oui; mais alors il faut admettre, comme nous l'avons déja fait (pages 143-153), que lorsque les deux fluides se séparent, ils sont projetés avec une certaine force, qui leur permet de vaincre jusqu'à un certain point l'inertie des mauvais conducteurs qui se trouvent sur leur passage. Immédiatement après cette impulsion, les deux fluides jouissent chacun des propriétés que nous leur connaissons, c'est-à-dire qu'ils tendent à reformer du fluide neutre, en suivant tous les conducteurs contigus, mais en éprouvant des temps d'arrêt aux surfaces de contact des conducteurs. Pour simplifier la question, considérons plusieurs couples dont les effets de tension soient égaux; ce cas n'a jamais lieu, puisqu'une foule de circonstances font varier l'intensité des effets électriques dans les actions chimiques; mais il nous sera facile de passer ensuite, comme l'a fait M. Delarive, au cas où les couples ne sont pas identiquement les mêmes sous le rapport des effets électriques.

Prenons trois couples a, b, c, disposés de telle sorte que le zinc de b plonge dans le même liquide que le cuivre de a, et son cuivre dans le même liquide que le zinc de c.

D'après les notions que nous possédons sur les effets électro-chimiques et que nous avons rappelées précédemment, l'électricité positive du couple b, qui provient de l'action chimique du liquide sur le zinc, est neutralisée par l'électricité négative qui est fournie par le cuivre de a, dans la supposition, bien entendu, où l'action chimique est la même dans tous les couples. L'électricité négative du cuivre de b neutralise également l'électricité positive du zinc c. Il reste donc ainsi un excès d'électricité positive dans le liquide où plonge le zinc

de *a*, et un excès parfaitement égal d'électricité négative sur le cuivre de *c*. Quel que soit le nombre d'éléments, on aura donc toujours à chacune des deux extrémités de la pile un excès d'électricité contraire, qui sera égal à celui qui se trouve sur chacun des éléments d'un couple ; mais il n'en est pas ainsi, puisque l'expérience prouve que la tension croît aux extrémités en raison du nombre des couples. C'est ici où l'on sent la nécessité d'admettre que, lorsque les deux électricités se séparent dans la réaction du liquide sur le zinc, le cuivre n'étant pas attaqué, l'électricité positive est chassée comme par une force d'impulsion vers l'extrémité zinc sur la couche humide, et l'électricité négative vers l'extrémité cuivre. Il résulte de là que la couche humide de chaque zinc et chaque cuivre acquièrent l'une et l'autre une tension électrique dépendante de leur rang, attendu que les électricités ayant perdu leur force d'impulsion ne peuvent plus vaincre aussi facilement l'inertie des mauvais conducteurs, et n'éprouvent plus que des recompositions partielles semblables à celle dont nous avons parlé plus haut. Cette manière de voir admet donc que les deux principes électriques ne se réunissent pas avec une promptitude égale à celle avec laquelle ils sont séparés. Comme la question qui nous occupe est de la plus haute importance pour l'électro-chimie, nous allons appliquer ces principes à des piles de deux, trois, quatre éléments.

414. Pour fixer les idées, supposons que lorsqu'un couple zinc et cuivre est mouillé par un liquide quelconque, ce liquide prenne un excès d'électricité positive $+1$, le zinc et le cuivre un excès -1 ; ces deux quantités sont celles qui échappent continuellement à la recomposition, et dont les actions sont dissimulées tant que le couple est isolé; mais si l'on met le cuivre en communication avec la terre, celle-ci lui enlève à chaque instant son excès -1, de sorte que l'excès $+1$ du liquide manifeste toutes ses propriétés. Ce couple étant isolé, la face zinc en haut, posons dessus un drap mouillé, puis un nouveau couple, dont la face zinc soit en contact avec

un air humide : on aura alors la distribution suivante, dans laquelle le 1er cuivre devra avoir la tension — 1, qui lui vient de la réaction du 1er zinc sur le drap mouillé, plus la même tension qui lui vient du 2e cuivre ; de même, la couche humide qui adhère à la surface du 2e zinc devra avoir sa tension + 1, plus celle qui lui est transmise par le liquide du drap mouillé.

1er cuivre.....	— 2	
1er zinc.....		
drap mouillé.....		0
2e cuivre.....	0	
2e zinc.....		
couche humide.....		+ 2

Il n'y a que les deux extrémités qui ont des excès d'électricité contraire, dont la tension est égale au nombre de couples.

Dans une pile de trois couples, on aura, en remarquant que les tensions du cuivre doivent croître dans un sens et celles de la couche humide dans un autre,

1er cuivre.....	— 3	
1er zinc.....		
drap mouillé.....		— 1
2e cuivre.....	— 1	
2e zinc.....		
drap mouillé.....		+ 1
3e cuivre.....	+ 1	
3e zinc.....		
couche humide.....		+ 3

Enfin, dans une pile de quatre couples, on aura

1er cuivre.....	— 4	
1er zinc.....		
drap mouillé.....		— 2
2e cuivre.....	— 2	
2e zinc.....		
drap mouillé.....		— 0

3e	cuivre.....	— 0
3e	zinc.....	
	drap mouillé.....	+ 2
4e	cuivre.....	+ 2
4e	zinc.....	
	couche humide.....	+ 4

Ces tableaux nous montrent bien que les deux moitiés de la pile se trouvent dans deux états électriques différents, et que le décroissement de l'électricité dans chaque moitié suit une progression géométrique dont la raison est 2.

Les choses étant ainsi disposées, si l'on touche l'une des extrémités de la pile, on doit produire le même effet que lorsqu'on touche la face zinc ou la face cuivre dans un couple simple, c'est-à-dire que l'on enlève toute l'électricité de même nature qui est propre à la moitié à laquelle se rapporte cette extrémité; ainsi, si l'on touche la face cuivre dans la pile de 4 éléments, on a

Cuivre.....	— 0
Zinc.....	
Drap mouillé.....	— 0
Cuivre.....	— 0
Zinc.....	
Drap mouillé.....	— 0
Cuivre.....	— 0
Zinc.....	— 0
Drap mouillé.....	+ 2
Cuivre.....	+ 2
Zinc.....	
Couche humide.....	+ 4

Cette distribution de l'électricité revient à peu près à celle que nous avons indiquée (tom. II, pag. 249), et sur laquelle nous avons promis de revenir avec des développements convenables. Nous ne croyons pas qu'il soit possible de donner, pour l'instant, une autre théorie de la distribution de l'électricité dans la pile, en admettant

que l'action chimique soit la cause unique du dégagement de l'électricité. Nous avons supposé que chaque couple produisait la même quantité d'électricité. Si cette quantité n'est pas la même, la question se complique un peu ; mais elle peut être résolue d'après les mêmes principes.

415. Voici comment M. Delarive a envisagé le cas où les quantités d'électricité libre sur deux couples *a* et *b* ne sont pas égales. Supposons que le couple *b* soit le plus faible; son électricité positive ne pourra neutraliser alors qu'une portion d'électricité négative de *a*. Il restera donc dans le cuivre de *a* un excès d'électricité négative qui retiendra, en la neutralisant, une quantité égale d'électricité positive. On voit par là que *a* ne peut mettre en liberté qu'une quantité d'électricité positive égale à celle de *b*, quoiqu'il soit plus fort que ce dernier. En suivant le même raisonnement, on voit que toutes les quantités d'électricité libre dans chaque couple sont égales entre elles, bien que ces couples n'aient pas tous la même force. M. Delarive a constaté ce fait dans une pile ordinaire, en se servant du multiplicateur à deux fils communiquant avec deux couples, de manière à avoir deux courants en sens inverse; il a trouvé alors que les deux courants se neutralisaient parfaitement. Il a reconnu également que si l'on interpose au milieu des autres couples un couple plus faible, on réduit immédiatement tous les autres à une intensité égale à celle de ce couple. Au moyen de ce principe, la question de la distribution de l'électricité dans la pile est ramenée au cas où les quantités d'électricité sont égales sur chaque couple.

§ II. *Des variations qui surviennent dans la tension de la pile.*

416. Nous allons examiner maintenant les diverses causes qui font varier la tension de la pile. Nous commencerons par exposer les changements qui surviennent quand les deux extrémités ayant été réunies au moyen d'un arc métallique, on enlève cet arc au bout d'un temps

plus ou moins long. Voici les principaux résultats que M. Marianini a obtenus dans une suite d'expériences relatives à cette question.

Une pile à couronne de tasses, de huit couples cuivre et zinc, ayant pour liquide conducteur une solution de sel marin, donnait 11 degrés de tension à l'électroscope à paille, muni d'un condensateur. Les deux extrémités ayant été mises en communication avec un arc de métal, pendant une minute seulement, et l'arc enlevé, la tension, immédiatement après, ne fut plus que de 7 degrés. Aussitôt que la pile eut repris sa première force, on ferma de nouveau le circuit, et, deux minutes après, on l'interrompit; la tension fut réduite à 6 degrés. La tension étant revenue à 11 degrés, on ferma de nouveau le circuit, et la tension, après trois minutes, n'était plus que de 3 degrés.

Avec un autre appareil, M. Marianini a obtenu les résultats suivants :

Tension de l'appareil avant que le circuit fût fermé		12 degrés.
Le circuit fermé pendant...	5″	9 $\frac{1}{2}$.
	10	8 $\frac{1}{2}$.
	30	8 à peine.
	1′	7
	2	6
	5	5
	10	4
	15, 20, 30, 40, 60	4 à peine.

Ces résultats nous indiquent, 1° que la diminution de la tension est rapide dans les premiers moments, et qu'elle va toujours en se ralentissant; 2° qu'il existe une limite au-delà de laquelle elle cesse de décroître, quel-

que long que soit le temps depuis lequel le circuit est fermé.

M. Marianini a soumis aussi à l'expérience des piles composées d'un plus grand nombre d'éléments.

Appareil à 16 *couples.*

		Tension.
Avant de fermer le circuit.....		22°.
Le circuit fermé pendant...	5″	15.
	10	13.
	30	12.
	1′	10 ½.
	2	9.
	3	8 environ.
	5	7.
	10	6 ½.
	20	6 forts.
	30 40 60	6 à peine.

Appareil à 24 *couples.*

		Tension.
Avant de fermer le circuit.....		33°.
Le circuit fermé pendant...	5″	20 environ.
	30	15 environ.
	1′	16.
	3	11.
	5	9.
	10	8 faible.
	20	7 ½.
	30	7.
	60	6 environ.
	90 120	5 ½.

On voit par ces résultats, que plus le nombre des couples est grand, plus la perte qu'éprouve la tension,

dans un temps donné, est considérable, et plus tard arrive la limite au-delà de laquelle elle cesse de diminuer.

Ces résultats doivent varier avec les liquides employés, puisque l'action chimique change en même temps.

Appareil chargé avec de l'eau distillée.

		Tension.
Avant de fermer le circuit.....		12°.
Fermé pendant.....	30″	11 faibles.
	1′	10.
	3	9.
	6	8.
	12 20 30 60	7.

Appareil chargé avec une solution de sel marin.

		Tension.
Avant d'avoir fermé le circuit.....		12°.
Fermé pendant.....	30″	8 ½.
	1′	7.
	3	6.
	6	4.
	15	3 ½.
	30 60	3.

Nous voyons par-là que plus le liquide agit chimiquement sur le métal oxidable du couple voltaïque, plus la perte de tension est rapide, et plus aussi on parvient tard à la limite au-delà de laquelle la tension ne diminue plus.

Le plus ou moins de conductibilité de l'arc métallique, qui sert à établir la communication entre les deux pôles, n'apporte aucun changement dans les résultats précédents.

417. M. Marianini a cherché ensuite à déterminer le temps que les appareils voltaïques emploient à recouvrer la tension électrique qu'ils perdent par la fermeture du circuit.

Appareil à 8 couples, semblable au premier.

	Tension.
Avant de fermer le circuit.....	12°.
Le circuit fermé pendant 1 minute.....	7°.
Tension mesurée, 50".....	
Après avoir rompu le circuit.....	9°.
1'	10°.
2'	11° $\frac{1}{2}$.
2' $\frac{1}{2}$	12°.

Le même appareil, fermé pendant 5 minutes.

Tension, un instant après que le circuit eut été interrompu.....	5°.
après 30"	7 $\frac{1}{2}$.
1'	8 $\frac{1}{2}$.
3	10 $\frac{1}{2}$.
5 $\frac{1}{2}$ environ.....	12.

Le même appareil fermé pendant un quart d'heure.

Tension, presque immédiatement après que le circuit eut été ouvert.....	4° faibles.
après 1'	7 $\frac{1}{2}$.
2	8 $\frac{1}{2}$.
7 environ.....	12.

Ces trois séries d'expériences indiquent que le temps qui est nécessaire pour que l'appareil reprenne sa tension primitive est d'autant plus grand, que le circuit est resté plus long-temps fermé.

418. Quant à l'affaiblissement qu'éprouve la tension quand les pôles ne sont pas mis en communication avec

un arc métallique, M. Marianini s'est servi de trois appareils à couronne, dont l'un était disposé de manière que la communication métallique entre la plaque de cuivre et celle de zinc de chaque couple pût être détruite ou rétablie à volonté, sans qu'il fût nécessaire de déplacer les plaques; le deuxième était monté comme à l'ordinaire, et le troisième était destiné à faire connaître si le condensateur et l'électromètre agissaient comme le premier jour. M. Marianini, après dix jours, ayant observé la tension de tous ces appareils, a trouvé:

La tension de l'appareil nouvellement monté.....	16°
Celle de l'appareil à plaques séparées	16 environ.
Celle de l'appareil monté comme à l'ordinaire.....	15 environ.
Après quinze jours, la tension du premier indiquait.....	15
Celle du second.....	15
Celle du troisième.....	13° environ.

Après trois mois d'expérience, le 2e et le 3e appareils avaient une tension seulement un peu supérieure à celle de l'appareil nouvellement monté.

Ces résultats nous indiquent que, pendant trois mois, la tension a éprouvé peu de variation, soit que les éléments de chaque couple communiquassent ou non ensemble.

M. Marianini a tiré de ces expériences les conséquences suivantes :

La tension que l'appareil à plaques neuves perd dans un temps donné est moindre que celle qu'éprouve l'appareil à plaques oxidées; l'appareil neuf arrive plus tôt que le vieux à la limite au-delà de laquelle la perte de tension n'augmente plus. Dans des piles à couples d'or et de zinc, la perte de tension est plus rapide que dans la pile ordinaire, et arrive dans un temps très-court à la limite; tandis que dans l'appareil à couples de plomb et

de zinc, la perte de tension est plus lente que dans la pile à couples cuivre et zinc.

Les expériences de M. Marianini s'appliquent à des phénomènes tellement composés, qu'il est impossible d'en déduire des principes simples. En effet, quand une pile fonctionne et que la communication a été établie entre ses pôles, la tension électrique aux deux extrémités, à l'instant où l'on interrompt cette communication, dépend non-seulement de l'action chimique du liquide sur le métal le plus oxidable et du composé qui se forme sur sa surface, lequel tend à ralentir la marche du fluide électrique, mais encore de cette polarité dans laquelle se constituent les deux éléments de chaque couple, et dont nous avons parlé précédemment, laquelle polarité détermine des effets électriques inverses de ceux qui sont propres à chaque couple. On voit, d'après cela, combien sont composés les phénomènes qui ont été l'objet des investigations de M. Marianini.

Il serait impossible d'examiner toutes les circonstances qui font varier la tension de la pile, attendu qu'elles sont souvent si fugitives qu'elles échappent la plupart du temps à l'observateur le plus attentif. Si l'on songe que la nature des métaux, celle du liquide qui les baigne, l'état des surfaces, la réaction des composés qui se forment, les changements de température, sont autant de causes qui font éprouver des modifications à l'action chimique et doivent exercer une influence sur les effets de tension, on concevra combien il y a de difficultés à surmonter pour arriver à des lois générales.

Les effets de tension étant très-difficiles à comparer entre eux, nous nous en tiendrons aux indications que nous avons déja données, afin d'examiner, à l'aide du multiplicateur, les changements qui ont lieu dans la pile quand on fait varier l'action chimique, le nombre des éléments, etc.

§ III. *Des rapports qui existent entre l'intensité du courant, le nombre et les dimensions des plaques voltaïques, et l'énergie de l'action chimique du liquide sur le métal oxidable.*

419. Nous savons que lorsque l'on plonge les deux éléments d'un couple voltaïque dans une solution neutre acide ou alcaline, la direction et l'intensité du courant dépendent de l'action exercée par le liquide sur chacun de ces éléments, et en particulier sur le métal le plus oxidable. Il résulte de là que l'on peut toujours prévoir *à priori* la direction du courant, quand on connaît la nature de la solution et celle des deux métaux, puisque le métal le plus attaqué, celui-là même qui détermine le sens du courant, prend toujours au liquide l'électricité négative. C'est ainsi qu'en mettant deux lames cuivre et zinc en communication avec le multiplicateur, et les plongeant dans de l'eau salée, le zinc prend au liquide l'électricité négative, attendu qu'il est plus attaqué par ce liquide que le cuivre; mais si le liquide conducteur est une solution de sulfure de potassium, le courant suit une direction opposée, parce que le cuivre est plus attaqué que le zinc. Or, ce qui a lieu pour un couple voltaïque, relativement à la direction du courant, doit encore se reproduire dans une pile formée de la réunion de plusieurs couples. Si donc l'on a deux piles semblables à couples cuivre et zinc, l'une montée avec de l'eau acidulée, et l'autre avec une solution de sulfure de potassium, le côté zinc dans la première donnera de l'électricité positive, et dans la seconde de l'électricité négative. Quelques exemples choisis par M. Delarive montreront encore la dépendance mutuelle qui existe entre la direction du courant et la réaction chimique du liquide sur le métal oxidable.

420. Prenons une lame de cuivre et une lame d'étain en relation avec le multiplicateur : si on les plonge dans une solution acide ou saline, il se produit un courant

de l'étain au cuivre par l'intermédiaire du liquide, tandis que le même couple, placé dans l'ammoniaque, donne un courant qui va en sens inverse. Le contact des deux métaux, dans cette expérience comme dans celle qui a été rapportée plus haut, étant resté le même, il en résulte que le changement dans la direction du courant ne peut être attribué qu'à une différence dans l'action chimique. Effectivement, dans le premier cas, l'étain est plus fortement attaqué que le cuivre, tandis que dans le second c'est le contraire. Une pile formée avec des couples étain, cuivre, montée avec de l'ammoniaque, doit donc avoir des pôles inverses de ceux que l'on obtient quand elle est montée avec une solution neutre ou acide.

M. Delarive, en plongeant divers couples voltaïques dans des acides à différents degrés de concentration, a obtenu les résultats consignés dans les deux tables suivantes, dans lesquelles chaque métal est positif par rapport à celui qui le précède.

Dans l'acide nitrique concentré.	Dans l'acide nitrique étendu d'eau.
Fer oxidé.	Argent.
Argent.	Cuivre.
Mercure.	Fer oxidé.
Plomb.	Fer.
Cuivre.	Plomb.
Fer.	Mercure.
Zinc.	Étain.
Étain.	Zinc.

L'arsenic et le fer ont fourni un exemple remarquable d'un changement de polarité. Dans un acide étendu, le fer est éminemment positif par rapport à l'arsenic, qui est peu attaqué; tandis que lorsqu'on les plonge dans de la potasse tenue en fusion, les deux métaux changent de rôle : l'arsenic, sur lequel la potasse agit puissamment, devient positif.

Un couple or et cuivre ne lui ayant donné aucun effet quand il a employé du mercure comme corps liquide, il a émis le doute que la formation de l'amal-

game fût une véritable action chimique. Certes, l'amalgamation est une action chimique dans toute l'étendue du mot, et nul doute qu'il n'y ait aussi dégagement d'électricité quand elle se produit; mais le courant n'est pas sensible, parce que les deux électricités dégagées trouvent plus de facilité à se recombiner sur la surface même du contact de l'or et du mercure que de suivre le fil métallique qui réunit l'or et le mercure. En général, toutes les fois que le corps conducteur intermédiaire est moins bon conducteur que les deux substances sur lesquelles il réagit, les deux électricités dégagées dans l'action chimique suivent, pour se recombiner, le fil du multiplicateur; dans le cas contraire, ou du moins quand il est suffisamment bon conducteur, la recomposition s'opère sur la surface même du contact; c'est ce qui arrive ici.

Le sens du courant, dans un couple qui plonge dans un liquide, est bien dépendant, comme nous l'avons dit, de l'énergie avec laquelle s'exerce l'action chimique sur l'un des éléments de ce couple; celui qui est le plus attaqué prend l'électricité négative au liquide : mais peut-on, en augmentant la surface du métal le moins attaqué, compenser et même surpasser l'action plus vive de ce liquide sur l'autre métal? M. Delarive, qui a étudié cette question, a reconnu que cela a lieu quelquefois quand la différence entre les propriétés chimiques des métaux est peu différente; mais qu'en général la somme d'un grand nombre d'actions chimiques très-faibles ne peut jamais égaler une action chimique très-forte, quand bien même celle-ci ne s'exercerait que sur une très-petite surface.

L'examen que nous avons fait des phénomènes électro-chimiques et thermo-électriques, dans le 2e volume, nous dispense d'entrer dans aucun détail sur l'influence de l'oxidation et de la température sur la direction et l'intensité du courant.

§ IV. *Des modifications qu'éprouve l'électricité voltaique dans son passage à travers des conducteurs liquides interrompus par des lames de métal.*

421. Pour étudier les modifications qu'éprouve un courant quand il traverse des conducteurs liquides interrompus par des lames de métal, M. Delarive a pris une cuve de verre, séparée en divers compartiments par des lames de platine; il a rempli les diverses cases avec une solution de chlorure d'ammoniaque ou de chlorure de sodium; dans les deux cas, les effets obtenus ont été les mêmes : le courant traversait le fil d'un multiplicateur assez sensible.

La pile dont il a fait usage était composée de 60 paires simples, de 16 pouces carrés de surface pour chaque plaque, et il a pris avec soin les angles de déviation de l'aiguille du multiplicateur à différents degrés d'intensité du courant de la pile, c'est-à-dire à des intervalles plus ou moins longs depuis le moment où la pile se trouvait en action; et il a observé aussi ces angles pour une même intensité de la pile, soit que le liquide fût interrompu par une ou plusieurs lames de métal.

M. Delarive a déduit d'un grand nombre d'expériences les conclusions suivantes :

1° Une ou plusieurs lames métalliques, placées perpendiculairement dans un liquide conducteur sur la ligne menée par les deux pôles, diminue l'intensité du courant qui est obligé de le traverser;

2° Cette diminution est presque nulle, quand le courant qui traverse les lames est très-énergique et provient d'une pile composée d'un grand nombre de paires; mais l'intensité du courant diminue dans une proportion d'autant plus rapide, en traversant le même nombre de lames, que son intensité originaire est moins considérable;

3° De deux courants ayant la même intensité, l'un originairement, l'autre après avoir traversé une ou plu-

sieurs lames métalliques, le premier diminue beaucoup plus par l'interposition d'une lame que le second, qui a déja passé à travers des lames semblables. Il est à remarquer que les deux courants comparés proviennent de la même pile; mais l'une a une intensité originaire plus faible que l'autre, parce qu'on l'observe après un intervalle de temps plus long, depuis le moment où la pile est en action.

Les résultats suivants mettent à même le lecteur de vérifier les conclusions du travail de M. Delarive

LAMES INTERPOSÉES.

	0 lame.	1 lame.	2 lames.	3 lames.
1re expérience.	83	83	82,5	82
2e id.	81	78	75	71
3e id.	80	76	72	66
4e id.	79	73	68	65
5e id.	78	73	67	62
6e id.	77	71	64	57
7e id.	76	70	63	56
8e id.	75	67	61	53
9e id.	74	66	60	52
10e id.	73	65	58	50

Rien n'est plus simple maintenant que de reconnaître dans ce tableau le fait général que nous avons rapporté. En effet, le courant qui est marqué par 83 degrés de déviation, dans la 1re expérience, ne diminue que de 1 degré après avoir traversé 3 lames de platine; tandis que plus le courant initial est faible, plus la diminution qu'il éprouve est grande.

Dans la 2e expérience, le courant, qui est réduit à 78 degrés par son passage à travers une lame, éprouve une perte de trois degrés quand il traverse une seconde lame, puisque sa déviation est alors de 75 degrés; tandis qu'un courant primitif de 78 degrés, dans la 5e ex-

périence, est réduit à 73 degrés par son passage à travers une lame.

Dans le premier cas, il a perdu 3 degrés, et dans le second, 5 degrés; de même, dans la 2e expérience, le courant qui a donné une déviation 75 est réduit à 71 par l'interposition d'une seule lame, tandis que dans la 8e expérience, où le courant originaire était de 75 degrés, l'interposition d'une seule lame a ramené la déviation à 67 degrés.

Dans le premier cas, le courant avait déja traversé plusieurs lames, et dans le second, il n'en avait pas encore rencontré sur son passage; ainsi il est donc bien démontré qu'un courant diminue d'autant plus par l'interposition d'une nouvelle lame, qu'il a traversé déja moins de lames.

On obtient les mêmes résultats avec des lames de différents métaux, à l'intensité près. En général, plus le métal est facilement attaquable par le liquide, moins il y a de diminution dans l'intensité du courant.

422. M. Delarive a déduit des observations précédentes une explication de la différence qui existe entre les effets d'une pile formée d'un petit nombre d'éléments, et les effets d'une pile composée de beaucoup d'éléments. La première produit plus facilement les effets qui se manifestent quand le circuit est fermé par un très-bon conducteur; tandis que la seconde peut être employée avec succès à la production des phénomènes qui ont lieu quand il se trouve dans le circuit un conducteur imparfait, tel qu'un conducteur humide. Dans le premier cas, effectivement, le courant ayant traversé dans la pile un nombre de plaques moins grand que celui qui compose la seconde, doit avoir moins de facilité à traverser un conducteur imparfait, que l'autre qui a acquis la faculté d'éprouver moins de perte en traversant de nouveaux intervalles. Ainsi on voit pourquoi de deux piles, qui ne sont pas composées d'un même nombre d'éléments, mais dont l'intensité primitive est la même, celle qui renferme le plus d'éléments fournit un courant qui est

plus apte que l'autre à vaincre les obstacles qu'il rencontre.

Cette propriété, dont jouissent les courants électriques qui ont traversé un certain nombre de plaques de métal, a des rapports avec celle que présentent la lumière et la chaleur après avoir traversé des lames de verre. En effet, Delaroche a découvert que la quantité de chaleur rayonnante qui traverse une lame de verre est d'autant plus considérable que la chaleur émane d'un corps plus chaud et a traversé plus de lames, et que les rayons calorifiques après leur sortie sont plus propres qu'avant à traverser une seconde lame semblable à la première, puisque le faisceau transmis par la première éprouve dans la seconde à proportion une perte beaucoup moindre.

On a expliqué ce fait, en admettant que les rayons transmis par la première lame éprouvent une polarisation qui les rend plus aptes à traverser une autre lame. Effectivement, lorsqu'on fait passer obliquement un faisceau de lumière à travers un certain nombre de lames de verre parallèles séparées les unes des autres, la lumière éprouve une telle modification à son passage dans chaque lame, qu'après en avoir traversé dix elle se trouve complétement polarisée, et qu'elle jouit de la propriété d'en traverser de nouvelles sans éprouver de perte sensible. Par analogie, le courant n'éprouverait-il pas, en traversant différentes plaques, une polarisation semblable à celle de la lumière?

423. M. Marianini a attribué aussi l'affaiblissement du courant dans les appareils voltaïques aux alternatives des conducteurs métalliques et des conducteurs liquides. Il a vérifié cette conjecture qui était toute naturelle, en observant d'abord la déviation produite par un couple horizontal zinc, drap mouillé, cuivre, en rapport avec un multiplicateur, et plaçant ensuite sur ce couple un second couple inactif, drap humide, cuivre. La communication ayant été établie cette fois entre le zinc et le cuivre supérieur, la déviation fut réduite à

moitié de ce qu'elle avait été d'abord. Un troisième couple inactif la réduisit au tiers. Cette expérience démontre bien que la perte d'électricité doit être attribuée aux alternatives ; mais nous ne pensons pas, surtout d'après les expériences de M. Delarive que nous venons de rapporter, que l'on doive considérer l'effet du ralentissement comme proportionnel au nombre de couples. Le phénomène est tellement composé, que nous doutons que la loi qui exprime la diminution de l'intensité du courant, en raison du nombre de plaques, soit aussi simple que le pense M. Marianini. Les résultats auxquels ce physicien est parvenu, dans une autre série d'expériences, ne sont pas non plus très-concluants. Néanmoins nous les donnons ici.

Ce physicien a employé une boîte de bois verni, de onze pouces de long, divisée en six compartiments par des lames de plomb, l'un de six pouces, les autres d'un pouce seulement. Ces compartiments ayant été remplis du même liquide, il a plongé successivement dedans deux lames cuivre et zinc en communication avec le multiplicateur, de manière que les deux plaques fussent constamment à cinq pouces de distance, soit que le courant eût à traverser une, deux, etc., plaques de plomb, ou qu'il n'eût à en traverser aucune. Les plaques cuivre et zinc avaient 14 lignes de largeur et étaient plongées de 2 pouces; le liquide commun était de l'eau renfermant $\frac{1}{200}$ de sel marin. Voici les résultats obtenus :

Nombre des lames de plomb interposées.	Déviation de l'aiguille aimantée.
0	3°,0
1	1°,0
2	0°,35
3	0°,20
4	0°,15
5	à peine appréciable.

En employant des plaques zinc et cuivre d'une surface double, M. Marianini a obtenu :

Nombre des diaphragmes.	Déviation.
0.	6°,0
1.	2°,45
2.	1°,00
3.	0°,40
4.	0°,25
5.	0°,15.

Ces déviations nous indiquent bien avec quelle rapidité les diaphragmes métalliques diminuent l'intensité du courant; mais elles sont trop petites pour que nous puissions comparer ensemble les pertes qu'éprouve le courant, par l'interposition d'un ou de plusieurs diaphragmes.

§ V. *Rapports entre l'intensité du courant et l'étendue des surfaces immergées.*

424. Pour déterminer la loi suivant laquelle augmente l'intensité du courant, en raison de l'étendue de la surface immergée, M. Delarive a plongé, dans un vase contenant un liquide conducteur, deux lames de platine ayant chacune 1 pouce carré, et éloignées l'une de l'autre de 4 lignes. Il a plongé également, dans deux autres verres semblables et remplis du même liquide, quatre lames de platine placées deux à deux à la même distance, et présentant chacune au liquide une surface d'un demi-pouce carré; puis il a réuni avec un fil de métal, deux à deux, les lames qui plongeaient dans les verres différents. M. Delarive appelle cet assemblage système double, et le premier système simple. Le système triple est celui dans lequel se trouvent six lames plongeant seulement d'un tiers de pouce deux à deux dans trois verres différents, et réunies de la même manière trois à trois. Dans chacun de ces appareils, la somme des surfaces en contact avec le liquide est de deux pouces.

Quand on met séparément ces systèmes dans le cir-

cuit d'une pile composée de dix paires chargées avec un mélange de 40 parties d'eau, d'une d'acide sulfurique et une d'acide nitrique, voici ce qui arrive : dans le premier, le courant passe d'une seule lame dans l'autre; dans le second, il se partage entre les deux lames réunies par le fil de métal auquel aboutit l'un des pôles; dans le troisième, il se partage entre les trois lames, etc. Si l'on emploie pour liquide intermédiaire de l'acide nitrique étendu ou concentré, et que l'on fasse passer dans ces systèmes des courants n'ayant pas la même énergie, on trouve, avec le multiplicateur à deux fils, que la faculté dont jouit chaque système de transmettre plus ou moins facilement l'électricité, dépend de l'intensité du courant qui les traverse. En employant un courant faible, le système simple est meilleur conducteur que les deux autres; avec un courant plus fort, c'est le système triple qui est meilleur conducteur; avec un courant plus fort encore, le système simple devient le moins bon conducteur. Il doit donc exister, d'après cela, un degré d'intensité pour lequel les deux systèmes sont également bons conducteurs.

Avec l'acide nitrique concentré, le système simple conduit mieux que le triple.

Les observations précédentes sont confirmées par la remarque de Wollaston, que l'on augmente beaucoup l'intensité du courant en donnant au cuivre une surface plus grande qu'au zinc. En effet, le courant éprouve toujours de la difficulté à passer du cuivre et du zinc dans le liquide; mais cette difficulté est plus grande pour le cuivre que pour le zinc. En augmentant la surface du premier métal, on doit donc compenser sa moindre facilité à transmettre le courant; mais si le courant est très-énergique, l'influence qui résulte de l'augmentation de surface est moins sensible, comme l'a observé M. Delarive. Cet habile physicien a tiré de ses expériences les conséquences suivantes :

1° L'augmentation de surface facilite la transmission du courant ;

2° L'augmentation d'intensité, qui résulte de la plus grande étendue de surface, croît dans un rapport plus grand que la surface elle-même, quand le courant est faible ;

3° Cette augmentation croît dans un rapport moindre quand le courant est intense ;

4° Que, par l'augmentation de la surface métallique en contact avec le liquide, on gagne proportionnellement davantage quand l'électricité en mouvement est peu intense que lorsqu'elle est très-forte.

§ VI. *De l'influence de la nature relative des conducteurs qui transmettent le courant pour diminuer l'intensité du courant.*

425. Faisons maintenant intervenir dans les expériences la nature des conducteurs solides et liquides, tels que le platine, l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, le fer, le plomb, l'étain et le zinc, et les acides nitrique, sulfurique, hydro-chlorique, les solutions alcalines et salines, etc. M. Delarive va encore nous servir de guide ici.

Plaçons d'abord dans le circuit des liquides différents avec des lames de platine, et prenons, comme il l'a fait, des petits verres cylindriques d'un pouce environ de diamètre, remplis des liquides soumis à l'expérience, et dans chacun desquels plongent verticalement et parallèlement l'une à l'autre deux lames de platine, placées à une distance de quatre lignes environ, et présentant chacune au liquide une surface d'un pouce carré. Quand il s'agit de plusieurs alternatives, on emploie des verres semblables réunis par des lames de platine recourbées, de manière à présenter toujours dans chaque liquide une surface verticale d'un pouce carré, comme ci-dessus. Voici les résultats de plusieurs expériences :

L'acide nitrique est celui de tous les liquides qui diminue le moins l'intensité du courant; vient ensuite l'acide hydro-chlorique, puis l'acide sulfurique. La di-

minution est plus grande avec l'acide nitrique pur et très-étendu qu'avec l'acide concentré. Le contraire a lieu pour l'acide sulfurique; ce qui est facile à expliquer, puisque ce dernier acide est mauvais conducteur. Viennent ensuite les solutions salines, puis la potasse et l'ammoniaque, qui diffèrent peu l'une de l'autre. Le courant transmis au travers de chacun des liquides ne diminue pas sensiblement d'intensité quand on augmente la longueur du trajet qu'il a à parcourir dans ce liquide. M. Delarive en a conclu que les résultats obtenus étaient indépendants du pouvoir conducteur des liquides. En opérant avec 0, 1, 2, 3, 4 alternatives, l'alternative zéro représentant le cas où les deux lames de platine plongent simplement dans le liquide, on a,

EXPÉRIENCES avec une pile de 40 éléments.

NOMBRE DES ALTERNATIVES.	0	1	2	3
	déviation.			
Acide nitrique concentré	65°	61°	59°	57°
Acide sulfurique *id.*	64	56	48	40
Acide sulfurique étendu	62	59	52	44
Ammoniaque	64	53	46	36
Acide acetique	61	47	38	29
Acide nitrique concentré	74	72	70	68
Acide sulfurique étendu	74	70	67	62
Acide nitrique concentré	77	76	74	72
Acide sulfurique *id.*	78	76	74	69

Expériences avec une pile de 20 paires.

Acide nitrique concentré	67	61	52	41
Acide sulfurique *id.*	72	63	44	12
Ammoniaque	64	45	34	23
Acide sulfurique concentré	52	31	7	à peine sensible.
Id. étendu	52	36	13	3
Acide nitrique concentré	78	74	69	61
Id. étendu	78	73	67	53
Acide hydro-chlorique	77	73	68	57

Ces résultats nous montrent, comme on l'a dit précédemment, que la perte d'intensité qu'éprouve le courant est plus forte quand ce courant est produit par la pile de vingt paires, que lorsqu'il provient d'une pile de quarante; c'est pourquoi les différences qui sont dues à la diversité des liquides, sont beaucoup plus sensibles dans le second tableau que dans le premier.

Avec le multiplicateur à deux fils et deux systèmes de lames semblables de platine, plongeant dans des liquides différents, tels que l'acide sulfurique et l'acide nitrique concentré, on a reconnu que tout système dans lequel l'acide sulfurique entre, gagne ou perd proportionnellement davantage par une différence dans l'intensité du courant que l'acide nitrique. En comparant l'acide hydro-chlorique et l'acide nitrique, on a trouvé que pour un nombre égal d'alternatives dans les deux, le premier transmet mieux le courant que l'autre quand l'électricité est forte, et moins bien quand elle est faible.

En résumé, la diminution d'intensité qu'éprouve l'électricité en passant du platine dans un liquide, dépend de la nature de ce liquide; elle dépend encore de la force du courant, de manière que tel liquide qui transmet mieux le courant qu'un autre, pour une certaine intensité, le transmet moins bien pour une intensité plus considérable ou plus faible; la transmission du courant d'un métal à un liquide quelconque est d'autant plus facile que le métal est plus attaqué par le liquide. Indépendamment de l'action chimique, il existe une relation constante entre la facilité comparative de transmettre le courant électrique dans un liquide que possèdent deux corps solides et la nature d'électricité que chacun acquerra lorsqu'ils formeront l'un et l'autre un couple voltaïque dans ce même liquide.

Si nous soumettions à l'expérience des métaux oxidables, la question se compliquerait singulièrement, attendu que la facilité plus ou moins grande qu'éprouverait le courant à passer du liquide dans chaque métal,

dépendrait de l'action chimique plus ou moins forte exercée par la solution sur le métal ; on aurait donc continuellement pour résultats des différences d'actions, et comme ces résultats changeraient selon que la solution serait plus ou moins saturée, on aurait des tableaux nombreux, dont on tirerait peu de profit.

Nous croyons avoir passé en revue les principales causes qui exercent une influence sur la direction et l'intensité du courant dans une pile voltaïque. Passons aux effets physiques produits dans les corps par le passage de l'électricité.

CHAPITRE IV.

DES EFFETS PRODUITS DANS LES CORPS SOLIDES ET LIQUIDES PAR LE PASSAGE DE L'ÉLECTRICITÉ.

§ 1er. *Des effets mécaniques.*

426. La différence que nous avons reconnue dans le pouvoir conducteur pour l'électricité des métaux et même des liquides à volume égal, nous indique déja que deux fils ou lames de métal différent, de même dimension, en communication par leurs deux extrémités avec une source constante d'électricité, ne laissent point passer la même quantité d'électricité; mais que devient la portion qui n'est pas transmise? comment réagit-elle sur les particules des corps? La solution de cette question est de la plus haute importance pour la physique et la chimie, et ne peut manquer de jeter un grand jour sur les phénomènes de la chaleur en général; c'est pourquoi nous allons l'étudier en nous entourant de tous les documents que la science a pu réunir jusqu'ici.

Quand une décharge électrique suffisamment énergique traverse une substance quelconque plus ou moins conductrice, elle y produit ordinairement un déplacement, une expansion des particules qui se trouvent sur sa route; il peut en résulter, suivant la nature du corps, une dilatation, une liquéfaction, une volatilisation, une décomposition, ou un déchirement. Ces phé-

nomènes sont accompagnés ordinairement d'une élévation de température dont nous ne nous occupons pas pour l'instant.

L'expansion qui est produite dans les fluides est si énergique que les vases de verre qui les renferment sont brisés. L'expérience suivante de Beccaria donne une idée de la puissance expansive de cet agent : si l'on introduit une goutte d'eau au centre d'une boule solide de verre et que l'on y fasse passer une décharge à l'aide de deux fils de métal qui touchent la goutte d'eau par une de leurs extrémités, les particules du liquide sont projetées avec tant de force que la sphère est brisée avec violence; en employant des batteries, on parvient à casser des bouteilles de verre remplies d'eau, quand la distance entre les parois du verre et les fils qui transmettent l'électricité est d'environ deux pouces; cette propriété a été mise à profit pour percer des bouteilles ou des lames de verre. L'appareil (fig. 73) est destiné à cet usage. TT est la tablette sur laquelle on pose la lame V, qui doit être soumise à l'action des deux pointes PP. On parvient également à briser un tube capillaire de verre rempli de mercure, dans lequel on fait passer une décharge.

On emploie ordinairement pour soumettre les corps à l'action de fortes décharges l'appareil (fig. 74), auquel on a donné le nom d'*excitateur universel*. Cet appareil est formé d'un socle en bois *ss*, sur lequel sont fixées deux colonnes de verre *cc'* surmontées de deux appendices à charnières, en laiton, et auxquels sont adaptées deux tiges également en laiton *tt'* destinées, par deux de leurs extrémités, à établir la communication avec les deux surfaces d'une batterie et par les deux autres avec les corps soumis à l'expérience. Une tablette TT' sert à poser ces corps.

Le passage de l'étincelle électrique dans l'air et l'expansion qui en résulte sont rendus sensibles au moyen du thermomètre de Kinnersley : cet appareil (fig. 75) se compose d'une éprouvette EE' fermée par ses deux bouts,

à laquelle est adapté un tube tt' ouvert par en haut et communiquant avec l'intérieur de l'éprouvette. Celle-ci contient un liquide qui monte au même niveau dans le tube latéral. Vient-on à faire passer une étincelle entre les deux boules bb', le liquide s'élève aussitôt dans le tube; ce qui annonce d'abord un refoulement, puis une expansion de l'air.

Voici encore une expérience destinée à montrer le même effet. On prend un mortier d'ivoire au fond de la cavité duquel on place deux fils de métal dont les bouts sont éloignés d'un quart de pouce : on place dans l'excavation et précisement au-dessus de l'intervalle des deux fils une boule de liége ou de moelle de sureau. En faisant passer une forte décharge à travers les fils, l'air est d'abord comprimé, et son expansion rapide chasse la boule au dehors. L'étincelle, en traversant des tubes capillaires remplis de liquide, accélère l'écoulement de ce liquide, en raison de la force expansive.

§ II. *Des effets calorifiques.*

427. Nous avons déja posé en principe que lorsque la chaleur se propage dans un circuit métallique fermé là où elle rencontre un obstacle, les deux principes électriques apparaissent aussitôt, l'électricité positive franchit l'obstacle et il en résulte un courant électrique, qui va de la partie chaude à la partie froide. La réciproque a lieu, en général, c'est-à-dire que le fluide électrique, quand il circule dans un corps conducteur, là où il rencontre un obstacle qui l'empêche de passer outre, il y a production de chaleur; il y a cependant une exception dont nous parlerons dans le paragraphe suivant. Voyons les phénomènes calorifiques.

Lorsque l'on place la boule d'un thermomètre sensible sur la route parcourue par une forte décharge électrique, le thermomètre indique aussitôt une élévation de température. Cette élévation est d'autant plus marquée que les milieux traversés par l'étincelle sont plus mauvais

conducteurs de l'électricité, et l'étincelle elle-même plus énergique. Ce phénomène est accompagné d'une odeur analogue à celle du phosphore et du soufre : cette odeur est-elle le résultat de l'impression produite sur les organes de l'odorat par le principe électrique lui-même, ou bien provient-elle, comme semble le faire croire l'élévation de température, d'une combinaison dont nous ne connaissons pas les éléments? il nous est impossible de décider l'alternative, tenons-nous-en donc au fait.

Si l'on réunit les deux extrémités d'une pile voltaïque avec un fil de métal suffisamment fin et court, on voit ce fil s'échauffer, rougir, fondre et même brûler s'il est oxidable. De semblables effets sont produits également avec des décharges de batteries électriques. L'excitateur universel est employé à faire ces sortes d'expériences; le fil est placé entre deux pinces vissées dans les boules extrêmes.

428. Cuthbertson et autres physiciens qui ont mesuré avec des électromètres l'action calorifique produite par la décharge d'une batterie, ont trouvé qu'elle croissait à peu près comme le carré de la charge des batteries pour certaines longueurs de fil. Cette loi varie en outre suivant l'épaisseur des jarres qui composent la batterie. Celles qui sont épaisses ont une puissance de fusion moins grande. Cavendish a observé que la quantité d'électricité qui est nécessaire pour charger différentes jarres, dont l'étendue de la surface armée est la même, est en raison inverse de leur épaisseur.

429. Lorsque la charge n'est pas suffisante pour fondre les fils, il en résulte sur leur surface des effets de couleur dus à des altérations dépendantes de la nature des fils. Avec un fil d'acier, par exemple, la couleur devient successivement bleue, jaune, rouge vif; le métal entre ensuite en fusion quand la charge devient plus forte. La charge devenant encore plus considérable, le métal disparaît avec une flamme brillante, et il se dépose sur une feuille de papier placée au-dessous une poussière rouge très-fine, de peroxide.

Les métaux éprouvent des effets dépendants également de leur nature. Le platine, l'or et l'argent sont fondus et volatilisés; les deux premiers ne sont pas oxidés, comme on le pensait d'abord, attendu que la chaleur qu'ils éprouvent par l'acte même de la fusion est suffisante pour réduire leurs oxides : Cuthbertson (1) a fait un grand nombre d'expériences sur la fusion des métaux par l'électricité. L'appareil (fig. 76) dont il a fait usage est formé d'un tube de verre de deux ou trois pouces de diamètre et de huit pouces de longueur. Il est fermé à ses deux extrémités par une douille, à l'une desquelles est un robinet qui sert à faire entrer une quantité d'air donnée, ou de tout autre gaz; au-dessus de ce robinet, et dans l'intérieur du tube, est disposée une petite bobine sur laquelle sont enroulés un fil de métal et une ficelle, qui sont parallèles et attachés l'un à l'autre de quatre pouces en quatre pouces. Un cylindre de cuivre de trois pouces de long est vissé au centre de la douille supérieure. Au moyen d'une longue aiguille on fait passer les bouts de la ficelle et du fil de métal à travers le cylindre; puis on le ferme avec un bouchon, de manière que le fil et la ficelle se meuvent dans le tube. Quand le fil est brûlé on lui en substitue un autre au moyen de la ficelle.

Pour constater la quantité d'air absorbée, on adapte à l'orifice inférieur du robinet un tube de verre étroit, ayant à peu près dix pouces de long, et qui est ouvert à l'une de ses extrémités. Celle qui est libre est plongée dans un vase qui contient du mercure. Quand le robinet est ouvert, l'élévation du fluide indique la quantité de gaz absorbée.

La température de l'air augmentant beaucoup dans ces diverses expériences, on ne détermine l'absorption que lorsqu'elle est devenue égale à celle de l'air environnant.

---

(1) Nicholson's journal, in-4°, vol. v, p. 136, et Cuthbertson Electricity, p. 197.

En opérant dans l'air, la plupart des métaux sont oxidés, et il y a alors absorption d'oxigène. En raison de la différence de conductibilité des métaux, des charges égales ne produisent pas les mêmes effets sur des fils de différents métaux, de même longueur et de même diamètre. Le fer et le platine éprouvent de plus grands effets de chaleur que l'or et l'argent, qui conduisent mieux l'électricité.

Quand on remplit le réservoir d'hydrogène ou d'azote, le métal est seulement fondu, et réduit en parties très-fines. Voici le tableau des résultats que Cuthbertson a obtenus dans l'air sur des fils de différents métaux de dix pouces de longueur, en employant une batterie dont les armures internes avaient à peu près dix-sept pieds quarrés :

DÉSIGNATION des MÉTAUX.	DIAMÈTRE des FILS.	CHARGE en grains de l'électromètre.	COULEUR de la poussière métallique recueillie.
Fil de plomb..	.. $\frac{1}{90}$ ..	.. 20 ..	Gris peu foncé.
Fil d'étain...	.. $\frac{1}{90}$ ..	.. 30 ..	Presque blanc.
Fil de zinc..	.. $\frac{1}{90}$ ..	.. 45 ..	Presque blanc.
Fil de fer.....	.. $\frac{1}{130}$ ..	.. 35 ..	Brun rougeâtre.
Fil de cuivre.	.. $\frac{1}{130}$ ..	.. 35 ..	Brun tirant sur le pourpre
Fil de platine.	.. $\frac{1}{130}$ ..	.. 35 ..	Noir.
Fil d'argent...	.. $\frac{1}{130}$ ..	.. 40 ..	Noir.
Fil d'or.....	.. $\frac{1}{130}$ ..	.. 40 ..	Pourpre brunâtre.

430. Van Marum est parvenu, avec sa puissante machine, à fondre un fil de fer de cinquante pieds de longueur. Si l'on fait passer la décharge dans un fil de soie recouvert d'or ou d'argent, le métal est volatilisé, sans que la soie soit sensiblement altérée, pourvu toutefois que la charge ne soit pas trop forte.

La décharge électrique ne se borne pas à fondre et

à volatiliser les métaux et les alliages, elle peut même vaincre l'affinité qui unit les éléments de ces derniers, comme le laiton en est un exemple; le cuivre et le zinc sont alors séparés, et l'on peut recueillir les oxides sur une lame de verre.

Mais si l'électricité peut décomposer les corps et donner lieu ensuite à de nouvelles combinaisons, comme dans le cas précédent, certains oxides peuvent être ramenés, par le même moyen, à l'état métallique. On met dans un tube de verre horizontal une petite quantité d'oxide d'étain, et l'on place à peu de distance dans l'intérieur, les deux conducteurs de l'excitateur universel; des décharges rejetées réduisent peu à peu une portion de l'oxide, et l'on aperçoit sur la surface du tube de petites lamelles d'étain métallique. Le vermillon est décomposé par une jarre de dimension modérée, le mercure et le soufre sont séparés et adhèrent au verre.

431. L'étincelle électrique jouit de la propriété d'enflammer, au contact de l'air, les corps combustibles à la surface desquels on la fait éclater, même lorsque ces corps sont de mauvais conducteurs. Cet effet est-il dû à la chaleur dégagée ou à une polarité particulière qu'elle détermine dans les parties constituantes de ces corps? Ces deux opinions peuvent être également défendues. Voici quelques effets d'inflammation : on verse de l'éther ou de l'alcool dans une capsule de métal isolée, que l'on électrise. Il suffit d'approcher le doigt de la surface du liquide, de manière à exciter une étincelle, pour l'enflammer. Quand l'alcool n'est pas très-rectifié, il faut élever préalablement la température, si l'on veut produire l'inflammation. Pour enflammer la résine, on la met en poudre sur du coton, que l'on place dans le trajet de la décharge d'une forte bouteille de Leyde; la résine, puis le coton, prennent feu immédiatement. On peut, si l'on veut, placer la résine en poudre sur de l'eau, au-dessus de laquelle on place deux fils de métal, à très-peu de distance du niveau, et dont les bouts sont éloignés d'environ quatre ou cinq

pouces. La décharge d'une jarre suffit pour déterminer l'inflammation.

Le phosphore est enflammé par le même moyen.

432. Si l'on place, entre deux morceaux de glace, une feuille d'or très-mince, dont les bouts débordent de chaque côté, la décharge d'une forte bouteille à travers la feuille suffit pour fondre le métal, lequel reste appliqué sur les faces du verre.

Singer décrit de la manière suivante le procédé à l'aide duquel on peut imprimer sur la soie ou sur le papier des lettres ou d'autres ornements coloriés de diverses manières. « On trace d'abord sur un papier épais « l'esquisse de la figure que l'on veut représenter; on le « découpe ensuite à la manière des planches à vignet- « tes. La découpure est alors placée sur la soie ou le « papier qu'on se propose d'imprimer, puis recouverte « d'une feuille d'or au-dessous de laquelle on met une « carte: le tout est ensuite placé dans la presse (fig. 77) « ou comprimé de toute autre manière, et l'on dirige « la charge d'une batterie à travers la feuille d'or. L'im- « pression est limitée par l'interposition du papier sur « lequel la figure est découpée de manière à ne laisser « recueillir que les traces du dessin; et en usant de cet « artifice, on peut nettement représenter un profil, une « fleur ou toute autre figure. »

§ III. *Des taches circulaires de Priestley.*

433. Priestley (1) a décrit des taches circulaires, produites sur des morceaux de métal, par de fortes décharges électriques, dont nous devons naturellement parler ici. Ayant déchargé une batterie de quarante pieds carrés avec un bouton de cuivre poli, il remarqua sur la surface une assez grande tache circulaire, dont le centre était fondu et formé d'un grand nombre de points,

(1) Histoire de l'Électricité, t. III, p. 325.

plus grands auprès du centre que plus loin. Au-delà de cette tache se trouvait une poussière noire, non adhérente, puis un cercle entier de points brillants, composés de parties fondues superficiellement comme celles du centre; la fig. 78 représente l'effet décrit. Des taches semblables furent produites sur des lames polies de plomb et d'argent; seulement, la tache centrale sur l'argent était composée de points rayonnants du centre. Vus au microscope, les points brillants de la tache centrale et ceux qui formaient le cercle extérieur paraissaient autant de petites cavités. Sur une lame d'or, outre les cavités, on remarquait des petites balles creuses de métal, dues à la fusion du métal.

Priestley a trouvé que les cavités sur différents métaux étaient plus profondes les unes que les autres dans l'ordre suivant : étain, plomb, laiton, or, acier, fer, cuivre et argent; quant au bismuth et au zinc, ils se sont comportés à peu près comme le fer.

Il est parvenu aussi à produire deux cercles concentriques et même davantage, en recevant la décharge d'une batterie de 38 pieds carrés sur un morceau d'étain. Le second cercle se trouvait à la même distance du premier, que celui-ci de la tache centrale; il était composé de points très-fins. La fig. 79 représente les deux cercles. En soumettant à l'expérience l'alliage fusible, il obtint trois cercles concentriques (fig. 80); le cercle extérieur n'étant pas tout-à-fait si éloigné de celui du milieu, que celui-ci de la tache centrale.

En substituant aux lames de métal un morceau de charbon, celui-ci parut fondu et ramassé en petits tas dans un espace de la grandeur ordinaire d'une tache circulaire.

Avec un morceau de carbure de fer, il n'y avait ni parties fondues, ni tache circulaire; mais il y avait à la place une matière jaune, semblable à du soufre, d'où s'exhalait une odeur désagréable.

Priestley qui, dans tous ses travaux, a fait preuve d'un esprit très-judicieux et d'une finesse de tact peu

ordinaire, a tiré des faits que nous venons de rapporter la conséquence, « que la matière électrique sort en « forme de cylindres creux, et que ces cylindres sont for- « més par d'autres cylindres plus petits et solides, puis- « que tous les cercles sont composés de points ronds. » Cette réflexion est digne de remarque, et nous aurons plusieurs fois l'occasion de la reproduire dans la suite.

§ IV. *Du transport des substances pondérables par les décharges électriques.*

434. Quand le fluide électrique traverse des fils de métal et que sa tension est suffisante, il les fond, les volatilise, les disperse enfin; mais comment s'opère ce phénomène? Les particules pondérables sont-elles emportées par suite d'une affinité réciproque entre elles et l'électricité? Les observations suivantes de M. Fusinieri jetteront quelque jour sur cette question.

Ce physicien (1) a reconnu que l'étincelle qui traverse l'air en sortant d'un conducteur en laiton, emporte avec elle du laiton à l'état de fusion et des particules incandescentes de zinc. Lorsqu'elle part d'un globe d'argent, elle entraîne avec elle de l'argent en fusion; mais si elle traverse une plaque de cuivre, l'argent est transporté au travers de ce métal, qu'il perfore dans une étendue de plusieurs centimètres, si le passage d'une surface à l'autre s'effectue obliquement; une portion de l'argent reste alors emprisonnée dans l'ouverture qu'il s'est pratiquée dans le cuivre, et l'autre portion pénètre dans la boule de l'excitateur placée de l'autre côté.

L'or transporté par l'étincelle se comporte de même par rapport à une lame d'argent qu'elle traverse. Une partie de l'or reste dans l'argent et se dépose sur les

(1) Journal de Pavie, 1825, p. 405.

deux surfaces, sous forme de lames circulaires tellement minces qu'elles disparaissent peu de temps après.

Dans ces transports il y a réciprocité d'action, c'est-à-dire que si l'étincelle éclate entre l'argent et le cuivre, il y a transport de l'argent sur le cuivre et du cuivre sur l'argent.

M. Fusinieri a remarqué que le transport d'un métal sur l'autre est accompagné de deux fortes percussions contraires, opérées par le métal qui a été transporté; l'une a lieu sur le point d'où il s'est détaché, l'autre sur celui où il est entré dans l'autre métal; l'existence de ces deux percussions est démontrée par la présence de deux cavités opposées, qui renferment le même métal dans un état annonçant une fusion.

Quand l'étincelle part d'un métal et passe dans l'air, elle emporte avec elle un groupe de molécules, dont le centre est à l'état de fusion et la partie extérieure éprouve la combustion.

435. Suivant M. Fusinieri (1), le principe électrique est doué d'une force d'expansion spontanée, dont on se rend compte par la manière dont le laiton et l'or se disséminent sur une surface polie d'argent; ces métaux s'y déposent en lames excessivement minces, qui finissent par se volatiliser. Priestley avait déja observé des effets de ce genre, ainsi que des phénomènes de transport (2). La première fois qu'il fit usage d'une batterie électrique, ce grand physicien remarqua qu'il s'élevait à chaque décharge une poussière fort noire provenant du métal, quoique le fil de métal ne fût pas fondu et que la chaîne dont il se servait fût fort grosse.

Il observa encore qu'une feuille de papier, sur laquelle était posée la chaîne, était marquée d'une tache noire, partout où elle avait touché le papier, et que la chaîne avait perdu une très-petite partie de son poids.

---

(1) Journal de Pavie, 1821, 1822, 1823, 1824 et 1825.
(2) Histoire de l'Électricité, t. III, p. 350.

Pour bien s'assurer de l'effet de la dispersion, Priestley fit passer la décharge à travers un morceau de charbon; le charbon fut réduit en poussière. Le carton sur lequel il était posé fut déchiré, et le charbon pénétra dans l'intérieur.

Ayant placé la chaîne sur une lame de verre, il s'y déposa, lors de la décharge, des taches d'un aspect agréable, de la largeur et de la couleur de chaque chaînon; le métal, à la partie extérieure de ces marques, pouvait être enlevé facilement de dessus le verre, tandis que dans la partie inférieure il faisait corps avec le verre.

Les expériences que nous venons de rapporter prouvent bien le pouvoir dispersif de l'électricité.

436. Revenons aux recherches de M. Fusinieri; ce physicien a reconnu que les étincelles électriques obtenues entre deux fils de métal ou deux morceaux de charbon en communication avec la pile, renferment aussi des particules de ces substances très-divisées et à l'état de combustion.

Des faits qu'il a observés il tire les conséquences suivantes : l'étincelle électrique n'est pas formée seulement d'un fluide pur ou de fluides impondérables, tels qu'on les considère ordinairement. La lumière des étincelles électriques provient de l'ignition et de la combustion des particules de la matière pondérable elle-même. La présence de l'air détermine deux effets; 1° elle empêche la libre expansion dans l'espace; 2° elle favorise la combustion des molécules extérieures de chaque groupe, tandis que les molécules intérieures sont lumineuses par le seul fait de la fusion. Il en résulte que, dans les gaz privés d'oxigène, les molécules matérielles transportées par l'étincelle sont à l'état d'incandescence et de fusion; phénomène qui a souvent lieu en chimie dans un grand nombre de combinaisons.

Davy a tiré des conclusions semblables d'expériences que nous avons rapportées (133), en ajoutant néanmoins que l'espace où il n'y a pas de quantités appré-

ciables de matière pondérable est capable également de produire les phénomènes électriques. Cette question n'a pas été l'objet de recherches de la part de M. Fusinieri.

§ V. *Suite des phénomènes calorifiques de l'électricité.*

437. Toutes les piles ne sont pas également propres à la production d'effets calorifiques énergiques, MM. Fourcroy, Vauquelin et Thénard ont montré les premiers que les batteries à larges plaques contribuaient plus puissamment à l'inflammation des métaux que celles qui étaient composées d'un même nombre de plaques plus étroites. Il nous est impossible d'en dire davantage dans ce moment sur les rapports d'action entre ces deux piles, attendu que nous ne considérons ici que les phénomènes calorifiques.

Davy a reconnu que la décharge d'une batterie à larges plaques, en pleine activité, qui traverse un fil de fer de 2 pieds de long et de $\frac{1}{80}$ de pouce de diamètre, plongeant dans l'eau, acquiert une température suffisante pour la faire entrer promptement en ébullition.

Si les deux extrémités des deux conducteurs de la même pile sont terminées par des morceaux de charbon bien cuits, de vives étincelles jaillissent dans l'eau; il y a un dégagement abondant de gaz, et les bouts du charbon paraissent d'un rouge blanc pendant quelque temps. Pendant toute la durée du phénomène, le dégagement de gaz est accompagné d'un bruit semblable à celui d'une liqueur en ébullition. Les effets sont encore à peu près les mêmes en substituant à l'eau des huiles fixes ou volatiles, de l'éther, de l'alcool; on obtient aussi des étincelles avec le charbon dans les acides nitrique et sulfurique, qui sont de bons conducteurs parmi les liquides.

L'ignition du charbon dans ces différents cas dépend probablement de ce que pendant son contact avec le liquide il est entouré de globules de gaz qui empê-

chent la chaleur dégagée de se répandre dans le liquide environnant.

438. Davy, guidé par l'idée que la chaleur n'est autre que la réunion des deux principes électriques, s'est attaché à reconnaître si celle qui est dégagée dans les décompositions chimiques n'est pas due au jeu des forces électriques. Ayant placé dans le circuit d'une batterie de 100 paires de disques deux cônes d'or remplis d'eau distillée et mis en communication avec une mèche d'asbeste, il plongea successivement dans chacun de ces deux cônes un thermomètre, et il ajouta ensuite à l'eau du cône positif une goutte de solution de sulfate de potasse; la décomposition commença aussitôt, et fut suivie d'une élévation de température qui devint suffisante, en moins de deux minutes, pour faire entrer l'eau en ébullition.

En opérant avec une solution de nitrate d'ammoniaque, la chaleur dégagée s'est élevée à une telle intensité qu'elle a fait évaporer toute l'eau, dans trois ou quatre minutes, avec un bruit semblable à une explosion. Une certaine quantité de forte lessive de potasse introduite dans les cônes, ou de l'acide sulfurique concentré, n'a produit que très-peu d'effet calorifique.

Il résulte de là que l'accroissement du pouvoir conducteur de l'eau par l'addition d'une goutte de solution saline n'a contribué que peu ou point à l'effet, qui paraît dépendre en partie de l'énergie de la décomposition.

L'expérience suivante indique les causes qui produisent les effets calorifiques : lorsqu'on fait communiquer les deux pôles d'une pile avec une tige de plante grasse, la température s'élève tellement que l'eau qu'elle renferme finit par entrer en ébullition. On doit rapporter ce grand dégagement de chaleur aux nombreuses cloisons végétales que le fluide électrique est obligé de franchir sur sa route et qui sont autant d'obstacles à sa libre circulation.

Davy a mis le sceau à ses recherches sur les phénomènes calorifiques de la pile, en obtenant des effets de

chaleur et de lumière qui surpassent tout ce que l'on avait vu avant et dont le spectacle est des plus éclatants. L'expérience a été faite avec une pile énergique et l'appareil (fig. 81), formé d'un ballon AB, aux deux extrémités duquel sont adaptées deux boîtes à cuir, dans lesquelles passent deux fortes tiges *t*, *t*, qui peuvent s'approcher ou s'éloigner à volonté. A chaque extrémité de ces tiges on fixe un petit cône de charbon bien cuit et éteint dans le mercure pour qu'il soit meilleur conducteur. Les sommets des deux cônes ayant été placés à une très-petite distance l'un de l'autre, on met en communication les deux tiges avec les pôles de la pile. La décharge électrique franchit l'intervalle qui sépare les deux sommets. Il en résulte un jet de lumière dont l'éclat est supérieur à toutes les lumières que nous pouvons produire; la chaleur dégagée dans cette circonstance est si intense, que le charbon et la plombagine y sont volatilisés. On peut éloigner les deux pointes de charbon jusqu'à une distance de 4 pouces, sans que le jet de lumière soit interrompu. L'expérience a également lieu dans le vide, et dure pendant plusieurs heures de suite sans que le poids du charbon soit diminué sensiblement.

Les substances les plus réfractaires, telles que le quartz, la magnésie, la chaux, le saphir, etc., soumises à cette chaleur, entrent facilement en fusion.

Brandes a observé que la lumière qui brille entre les deux pointes de chaleur, jouit, comme la lumière solaire, de la propriété d'opérer la combinaison du chlore et de l'hydrogène.

439. Le docteur Hare, avec un appareil de 80 couples en hélices, auquel il a donné le nom de *déflagrateur*, a obtenu des effets de chaleur non moins étonnants. Nous allons en donner la preuve, en rapportant quelques-unes des expériences qui ont été faites avec cet appareil, par le professeur Silliman (1). Ayant placé de la plom-

(1) Journal of Sciences, XVI, p. 57.

bagine au pôle négatif et du charbon bien préparé au pôle positif, il mit en contact ces deux substances; l'étincelle fut très-vive, et au milieu de l'ignition on distinguait des globules de plombagine fondus. Ces globules étaient quelquefois si abondants qu'ils présentaient l'apparence de cordons de chapelet. Aucun globule n'apparaissait dans l'endroit de la plombagine où était le foyer de chaleur; il y avait seulement une excavation hémisphérique, et la plombagine avait l'apparence d'une scorie. Au pôle zinc, le charbon s'allongeait vers la plombagine, et la matière noire qui s'y accumulait présentait tout à fait l'apparence de fusion, elle était transportée à l'état de vapeur de la plombagine. On remarquait à l'extrémité du charbon de nombreux globules de matières parfaitement fondues, ayant un très-grand éclat vitreux; les plus éloignés du foyer avaient une couleur noir jayet, d'autres étaient colorés en brun, en jaune; d'autres enfin étaient limpides comme le flint-glass et avaient l'apparence de l'hyalite. Ces globules, qui pouvaient supporter une forte pression sans se briser, rayaient facilement le flint-glass et le verre à vitre.

On obtient aussi des effets de chaleur considérables avec une pile de médiocre grandeur, telle qu'une pile à la Wollaston, de dix couples, en expérimentant de la manière suivante : on prend un morceau de charbon bien cuit, qui a été jeté incandescent dans le mercure, pour le rendre meilleur conducteur, et on le fixe à un des deux fils conducteurs de la pile : si l'on touche ce charbon avec l'autre fil, que nous supposons de platine, il s'opère sur-le-champ une combustion des plus vives et un dégagement de lumière que l'œil peut à peine supporter. La chaleur est si intense que le bout d'un fil de platine de $\frac{1}{2}$ millim. de diamètre fond comme du plomb. On peut se servir de ce moyen pour remplacer le chalumeau dans les essais chimiques.

440. On a observé que lorsqu'on met en communication les deux pôles d'une pile avec une chaîne composée de plusieurs fils de métal de même nature et de même dia-

mètre attachés à la suite les uns des autres, l'incandescence se manifeste toujours aux points de contact. Quand les fils ne sont pas de même nature, ce sont toujours ceux qui sont le moins conducteurs qui s'échauffent davantage. Il semble résulter de là que la chaleur est ici produite par la difficulté ou la résistance qu'éprouve le courant électrique à passer d'un corps dans un autre ou d'une particule dans la particule suivante.

Doit-on en conclure que là où l'électricité circule librement elle ne donne lieu à aucun dégagement de chaleur? Tout semble le faire croire; mais des expériences récentes, faites par M. Delarive d'une part, et par M. Peltier de l'autre, montrent que des courants assez faibles traversant des circuits métalliques interrompus par des liquides, ou des circuits formés de plusieurs métaux, donnent toujours naissance à des effets calorifiques. On voit par là que les moindres obstacles suffisent pour dégager de la chaleur.

441. M. Delarive, pour observer les effets calorifiques de la pile, a fait usage du thermomètre métallique de Bréguet, auquel il a fait une légère modification qui permet de mettre l'hélice dans le circuit.

Il a cherché quelle pouvait être sur cet appareil l'influence de l'interposition d'un ou de plusieurs diaphragmes dans un liquide, au travers duquel passe le courant qui parcourt le fil du multiplicateur. Il a observé en même temps les effets magnétiques avec un multiplicateur ordinaire. Voici les résultats qu'il a obtenus en faisant traverser successivement le multiplicateur magnétique, le multiplicateur calorifique et de l'acide nitrique, séparé en plusieurs compartiments, au moyen de diaphragmes de platine, par un courant provenant d'une pile de huit couples de 2 pieds carrés de surface chacun :

Diaphragmes.	Galvanomètre magnétique.	Galvanomètre calorifique.
1	85°	312°
2	84	170
3	83	75

Diaphragmes.	Galvanomètre magnétique.	Galvanomètre calorifique.
4	75	12
5	40	0
6	37	0

Ces résultats montrent combien la vitesse est une condition nécessaire au courant pour qu'il développe une chaleur sensible quand il rencontre quelque résistance. L'influence de cette vitesse est telle, qu'il paraît que la quantité d'électricité ne peut la compenser. M. Delarive a observé qu'avec une pile composée d'éléments de 16 pouces carrés de surface, les effets calorifiques diminuent d'intensité, quand on emploie plus de dix ou douze couples.

442. L'expérience suivante de M. OErsted servira aussi à jeter quelque jour sur les causes d'où peut dépendre le dégagement de chaleur dans les phénomènes qui nous occupent. Ayant plongé des thermomètres dans de l'eau parcourue par un courant, il a trouvé que le thermomètre placé près du conducteur positif indiquait 20°,50, celui qui était près du conducteur négatif 18°; tandis que celui du milieu marquait 23°. D'où vient cette différence dans la répartition de la chaleur? On sait depuis long-temps que lorsqu'on fait passer une forte décharge dans un fil de métal, l'incandescence se manifeste au milieu; on attribue cet effet à ce que les points d'attache et les conducteurs adjacents s'emparent d'une portion de la chaleur dégagée aux extrémités du fil, de sorte que la température est moins élevée à ces extrémités qu'au milieu. Si cette cause de déperdition n'avait pas lieu, d'après tous les documents que nous possédons sur les phénomènes thermo-électriques, la chaleur serait la même sur toute la longueur du fil. Dans l'expérience de M. OErsted nous retrouvons encore plus de chaleur au milieu du liquide qu'aux points d'intersection avec les conducteurs métalliques; mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que la chaleur n'est pas la même à chacun de ces points;

elle est plus forte au pôle positif qu'au pôle négatif. Cette différence provient très-probablement de ce que les gaz, en se dégageant, ne reprennent pas la même quantité de chaleur. Du côté négatif il y a deux volumes d'hydrogène pour un volume d'oxigène au pôle positif; or, nous savons que la chaleur spécifique de l'hydrogène est égale à 3,2936, et celle de l'oxigène à 0,2361; les deux volumes du premier gaz doivent donc absorber plus de chaleur que le volume du second; il n'est donc pas étonnant, d'après cela, que la partie du liquide contiguë au conducteur négatif accuse une température moins élevée que la partie contiguë au conducteur positif.

443. M. Peltier, en faisant passer de faibles courants dans des circuits métalliques, a observé un abaissement de température aux points de jonction de certains métaux pris parmi ceux qui cristallisent, au lieu de trouver, comme à l'ordinaire, une élévation de température. Cet effet est rendu sensible avec une pile thermo-électrique ou un thermomètre à air. L'appareil fig. 82, indique le dispositif de l'expérience dans le premier cas : A, B représentent deux couples thermo-électriques en bismuth et antimoine, réunis au moyen d'un fil de cuivre C; les deux bouts libres des barreaux B″ et A″ communiquent à un multiplicateur G de 84 tours, qui indique les changements de température produits dans les mâchoires F et H. LK est un autre barreau d'antimoine et de bismuth que traverse le courant qui provient du couple voltaïque P. Un appareil, composé d'une lame N de cuivre avec un cercle gradué et une aiguille aimantée, est destiné à mesurer la quantité d'électricité qui parcourt le circuit MNM′KB‴A‴IL. Dès l'instant que cette électricité modifie la température des points de jonction des barreaux A‴B‴, la pile thermo-électrique accuse sur-le-champ le changement qui en résulte.

Si l'on place d'abord des fils de différents métaux entre les mâchoires de la pince thermo-électrique et que l'on varie l'intensité du courant, on observe une éléva-

tion de température quand les conducteurs sont homogènes; la chaleur est la même dans toute la longueur des fils, à l'exception des extrémités, où elle augmente ou diminue, selon que les attaches qui retiennent le fil sont moins bons ou meilleurs conducteurs que lui. Quand on emploie comme attaches des pinces de cuivre, l'abaissement de température se fait sentir à deux ou trois centimètres de distance, selon l'intensité du courant.

M. Peltier a reconnu que dans un conducteur, quelle que soit sa longueur, l'élévation de température n'éprouve pas de changement pour un même courant, quand on fait plonger une portion du conducteur dans un liquide à une température plus basse que celle que doit prendre ce conducteur.

Il entend par courant égal celui qui produit la même déviation dans le mesureur *o*. Supposons qu'un courant de 20 degrés élève la température d'un fil d'un décimètre de long de 10 degrés galvano-métriques; ce même courant maintenu à 20°, par une plus grande immersion du couple voltaïque, élèvera également la température de 10 degrés d'un fil de plusieurs mètres en le traversant dans toute sa longueur; mais quelque moyen qu'on emploie, dès l'instant que l'on a obtenu un courant de 20 degrés, l'élévation de température est toujours de 10 degrés sur toute la longueur du fil, sauf dans le voisinage des attaches. Il en résulte que c'est à la quantité d'électricité qui achève le circuit que l'on doit attribuer l'élévation de température, et non à la quantité arrêtée. On arrive au même résultat en employant une pile, au lieu d'un seul couple, l'immersion est d'autant moindre que le nombre d'éléments est plus grand.

M. Peltier, en cherchant la loi que suit le changement de température selon l'intensité du courant ou la section du conducteur, a obtenu les résultats suivants :

FORCE du courant.	TEMPÉRATURE d'un fil de cuivre de 0,mm 1 de diamètre.	
2°	0,7	Tous ces degrés sont relatifs aux déviations de l'aiguille aimantée et peuvent être regardés comme proportionnels aux forces en raison de la construction de l'appareil.
4	2	
6	4	
8	6	
10	9	
12	12	
16	18	
20	27	
24	36	

RÉSULTATS OBTENUS EN FAISANT VARIER LA SECTION DES FILS.

Diamètre des fils.	TEMPÉRATURE pour un courant de 15°.	TEMPÉRATURE pour un courant de 30°.
0 m. 8	2° 4	7°
8, 6	4 7	14
0, 4	7	21
0, 3	14	42

Ces résultats nous montrent que les rapports des températures sont comme 2 : 3, c'est-à-dire, que pour un courant double ou une section moitié la température est triple.

M. Peltier a passé d'un conducteur continu à des alternatives de conducteurs soudés bout à bout. Il a reconnu d'abord que la température variait selon le sens du courant pour la plupart des métaux. La plus grande élévation de température a lieu lorsque le courant négatif passe du meilleur conducteur dans un moins bon conducteur, par exemple du cuivre au fer, au zinc, au plomb, etc. Le contraire a lieu avec le courant positif.

Un fil de zinc, de o^{mm},8, soudé à un fil de cuivre

d'un côté et à un fil de fer de l'autre, soumis à un courant de 20°, a donné les résultats suivants :

La soudure zinc-fer, sous un courant négatif passant du zinc au fer, a donné une température de.... 30°

Sous le courant positif..... 13°

Pour une soudure cuivre-zinc, le courant négatif passant du premier au second, a donné... 26°

Le courant positif..... 14°.

444. Il est d'autres métaux qui produisent un abaissement de température notable aux soudures : ce sont les métaux qui cristallisent facilement, comme le bismuth, l'antimoine, et probablement l'arsenic. Le fer à gros grains a présenté le même phénomène, mais à un degré très-faible.

Ayant soudé une lame de bismuth entre deux lames de cuivre, M. Peltier a fait traverser ce conducteur mixte par un courant électrique, dont il a élevé successivement l'intensité. Il a obtenu les résultats suivants à la soudure par laquelle entrait le courant négatif:

Le courant étant de	a produit la température de
15°.....	— 2°5
20°.....	— 4°5
28°.....	— 4°5
30°.....	0°
35°.....	+ 4°.

A la soudure par laquelle entre le courant positif, il a obtenu une élévation de température qui s'est accrue de 10° à 50°. On conçoit qu'entre l'élévation de température à un bout et son abaissement à l'autre, il y a un zéro qui avance ou rétrograde selon que l'on s'approche ou l'on s'éloigne du maximum d'effet. Si l'on augmente l'intensité du courant, le zéro rétrograde jusqu'à la soudure négative, puis il y a élévation de température qui est toujours inférieure à celle de l'autre soudure. La lame de bismuth devient alors, comme tous les conducteurs mixtes, échauffée inégalement aux

soudures. Le bismuth ne se comporte donc pas comme les autres métaux, puisqu'il donne une élévation de température par un courant positif qui passe du meilleur conducteur, le cuivre, dans un moins bon, le bismuth.

M. Peltier n'a pas voulu se prononcer sur le rapport de conductibilité du cuivre, du bismuth et de l'antimoine, attendu qu'il pense que, pour déterminer la conductibilité exacte du bismuth et de l'antimoine, il faudrait pouvoir tirer en fils ces métaux dans des dimensions rigoureuses et comparables à celles des autres fils métalliques. Une autre difficulté qu'il met en avant est la différence de température produite aux soudures; par exemple, dans le bismuth, le courant positif élevant la température de la soudure par laquelle il entre, produit un contre-courant inverse; un courant négatif circule dans le même sens que le courant positif initial, de manière à affaiblir l'action du premier. Le contraire a lieu avec l'antimoine, car les deux courants s'ajoutent. Cet inconvénient ne se présente que lorsque l'on opère avec des courants thermo-électriques, car, en employant une source hydro-électrique, le liquide interposé s'oppose à la libre circulation du courant thermo-électrique.

Avant de soumettre à l'expérience des barreaux de bismuth et d'antimoine soudés par un de leurs bouts, M. Peltier a étudié chacun de ces barreaux séparément. Il a observé 1° qu'une lame de bismuth, soudée entre deux lames de cuivre, a donné à la soudure par laquelle entre le courant positif..... + 20°
Et à l'autre..... — 10°

Une lame d'antimoine, dans les mêmes circonstances, a donné, à la soudure positive..... — 5°
A la soudure négative..... + 10°

Ayant soudé ces deux lames, il a obtenu à la soudure, avec le même courant cheminant du bismuth à l'antimoine.... — 37°
Et avec le courant négatif..... + 45°.

On conçoit que plusieurs alternatives d'antimoine et de

bismuth donnent autant de maxima et de minima qu'il y a de lames.

Cet effet très-remarquable d'un refroidissement produit dans un circuit métallique par le passage d'un courant électrique, ayant fait soupçonner que l'effet pourrait bien être produit par un courant induit dans le thermoscope métallique, en vertu de l'action du courant initial, M. Peltier a répondu victorieusement à cette objection en remplaçant les thermoscopes métalliques par un thermomètre à air; les effets ont été les mêmes; ainsi, nul doute que l'abaissement de température ci-dessus mentionné ne provienne du passage de l'électricité du bismuth à l'antimoine.

Voici comment l'expérience a été faite. La soudure d'un barreau de bismuth et d'antimoine a été placée dans la boule d'un thermomètre à air (fig. 83); le tube capillaire plongeait dans de l'alcool coloré, dont la colonne, maintenue à une certaine hauteur, servait d'index. L'appareil étant ainsi disposé, on observa avec une grande facilité la condensation ou la raréfaction de l'air, selon qu'il y avait refroidissement ou élévation de température d'après le sens du courant. La marche du thermoscope à air a été constamment la même que celle du thermoscope métallique.

445. La pince thermoscopique dont M. Peltier a fait usage ne fonctionnait qu'après le partage de la chaleur dégagée aux soudures en expérience, ce qui est un inconvénient, puisqu'il y a une perte réelle de chaleur. Pour éviter cette perte, il a disposé son appareil de manière que la soudure elle-même fût une partie intégrante du circuit thermoscopique. Il a soudé en croix, par leur milieu, les fils soumis à l'expérience (fig. 84). Supposons qu'on ait pris un fil de fer et un fil de platine; il se trouvait alors quatre bouts libres, deux de fer F,F′, deux de platine P,P′. Si l'on forme un circuit électrique avec les bouts F et P, le courant, en passant par la soudure en croix, y produit un changement quelconque de température. A l'aide d'une bas-

cule métallique on rompt le premier circuit, et l'on en reforme un autre entre les deux bouts libres F′ et P′ et un multiplicateur thermo-électrique. Le changement produit dans le premier moment de l'expérience sur la soudure en croix agit sur-le-champ, sans aucune perte de communication, sur ce nouveau circuit fermé. La sensibilité de cet appareil est telle, qu'une croix de bismuth et d'antimoine indique la chaleur produite par le moindre courant thermo-électrique.

446. En soumettant à l'influence de faibles courants électriques les jonctions de divers métaux, M. Peltier a toujours obtenu une élévation de température avec les métaux ductiles et tirés en fil. L'inégalité était plus marquée que celle qui était indiquée par l'entremise de la pince. Quand il se trouve une solution de continuité entre des fils homogènes ou hétérogènes, il y a toujours élévation de température. Ainsi au contact de deux fils de cuivre, de deux lames de bismuth, il y a toujours une élévation de température sensible qui disparaît. Si on les soude, on retrouve toujours une légère différence en faveur du courant négatif; elle est d'autant plus sensible que la soudure est plus éloignée de l'homogénéité du reste du conducteur. Quand le contact a lieu entre des lames hétérogènes, l'inégalité de température est plus grande. Le fait de l'abaissement de température que nous venons de signaler, quand un faible courant passe du bismuth à l'antimoine, est capital; il est en dehors de tout ce que nous savons jusqu'ici sur les propriétés du fluide électrique, et reste par conséquent isolé dans la science. Nous nous bornons à le signaler à l'attention des physiciens.

447. Winterl est le premier qui ait conçu l'idée que la chaleur était formée de la réunion des deux principes électriques; mais il n'a pas cherché à l'appuyer sur des expériences concluantes. Ce principe, qui est déja adopté par quelques physiciens, n'est pas aussi explicite qu'on l'a d'abord cru, car la chaleur ne se manifeste dans un

circuit parcouru par l'électricité qu'autant que celle-ci rencontre un obstacle qu'elle ne peut franchir entièrement. Le principe doit être établi ainsi : quand les deux fluides électriques circulent dans un corps conducteur, la portion qui est arrêtée sur leur passage se change en chaleur; réciproquement, quand la chaleur se propage dans un corps, les deux fluides apparaissent là où elle rencontre un obstacle qui l'arrête en partie. Voilà comment il faut concevoir que la chaleur est formée de la réunion des deux fluides électriques. L'état de la science ne nous permet pas d'aller au-delà, sur les rapports qui peuvent exister entre la chaleur et l'électricité. Nous ferons cependant remarquer que les observations de M. Peltier, sauf celles qui concernent les métaux cristallisables, tendent à prouver que les deux électricités en se réunissant donnent toujours de la chaleur, quelque faible que soit leur intensité. Au surplus, nous reviendrons sur cette question, en exposant la théorie électro-chimique.

CHAPITRE V.

DES MOUVEMENTS PRODUITS DANS LES LIQUIDES CONDUCTEURS TRAVERSÉS PAR DES COURANTS ÉLECTRIQUES.

§ Ier. *Observations de M. Herschel.*

448. Nous avons déja commencé à traiter cette question, mais nous n'avons pu la développer en entier, faute de documents électro-chimiques que nous ne possédions pas alors; nous devons y revenir maintenant, si nous voulons compléter tout ce que nous avons à dire sur les effets physiques de l'électricité. MM. Herschel, Sérullas et Nobili vont nous servir de guides dans l'exposé que nous allons présenter des phénomènes de rotation des liquides traversés par des courants électriques.

Prenons un vase de terre dans lequel on met une petite quantité de mercure très-pûr, que l'on recouvre d'une couche d'acide sulfurique concentré d'un demi-pouce d'épaisseur; si l'on plonge, dans l'acide seulement et à une certaine distance l'un de l'autre, deux fils de platine en communication avec une pile de dix bocaux, on observe aussitôt dans l'acide un mouvement rapide de rotation dû à un courant violent qui s'établit entre les deux fils, et qui traverse directement le mercure dans la direction du pôle négatif au pôle positif. Pendant cette action, le mercure ainsi que l'acide ne paraissent pas éprouver d'altération sensible; c'est donc une action mécanique. Les parties de l'acide qui sont

contiguës au mercure sont celles qui se meuvent avec le plus de rapidité ; cet effet est le résultat des actions combinées des courants qui traversent le mercure, l'acide et les fils.

Si l'on ne prend qu'un globule de mercure, dont le centre se trouve sur la ligne droite qui joint les extrémités des fils, le courant s'établit diamétralement en travers ; cette condition n'étant pas remplie, l'effet devient composé. Quand le globule est très-gros, il s'allonge dans la direction de ces axes vers le fil négatif.

Pour montrer que la cause du mouvement réside particulièrement dans le mercure, il faut opérer avec une masse considérable de mercure, dont on humecte seulement la surface avec de l'acide sulfurique ainsi que le vase qui le renferme, et établir la communication avec la pile par l'intermédiaire de cette mince couche d'acide ; le mouvement de rotation du mercure est également très-violent. Nous devons ajouter, pour compléter la description du phénomène, que les molécules superficielles du mercure éprouvent une radiation continuelle, à partir du point le plus rapproché du pôle négatif.

Quand le mercure est oxidé de manière à ce que les parties superficielles aient perdu leur mobilité, les courants n'ont lieu seulement qu'au-dessous de la croûte qui le recouvre.

On peut affaiblir considérablement l'attraction apparente du globule de mercure vers l'extrémité négative, en substituant au vase de terre un vase de verre, sur lequel le mercure exerce une adhérence. Les courants ont lieu comme avant, mais le globule montre peu ou point de tendance au mouvement. Les mouvements rotatoires ne paraissent éprouver aucune influence de la part d'aimants très-puissants.

449. En substituant à l'acide sulfurique d'autres liquides conducteurs ou d'autres métaux à l'état fluide, on a des phénomènes du même genre, mais qui sont modifiés par la nature des substances et leur pouvoir conducteur.

M. Herschel a observé que ces expériences présentent de grandes difficultés, et manquent souvent sans qu'on puisse en connaître la cause. Une des principales est l'impureté du mercure; aussi recommande-t-il de le distiller avec soin, et de le laver préalablement avec de l'acide nitrique étendu.

En général, lorsque le mercure est surmonté d'un autre liquide que l'acide sulfurique, on observe encore une production de courants plus ou moins violents qui rayonnent du point le plus près du pôle négatif. Avec les acides les plus forts et les plus concentrés, ces mouvements sont violents; leur force diminue dans les dissolutions salines à mesure que l'énergie de la base est plus grande. C'est ainsi que les sels à base de potasse donnent des effets qui sont faibles; ils sont plus marqués dans ceux à base de soude, d'ammoniaque, de baryte, de strontiane et de chaux, et encore plus dans ceux à base de magnésie, d'alumine et d'oxide métallique. Avec des solutions d'alcali ou des terres, le mercure reste en repos. Quelques solutions, telles que celles d'un nitrate, donnent naissance à un double courant, un qui rayonne du pôle négatif et un autre du pôle positif.

Dans les expériences précédentes, le mercure n'était pas en contact immédiat avec les fils extrêmes de la pile; si l'un d'eux touche au mercure, on n'observe aucun courant partant du point de contact, mais celui qui a lieu de l'autre côté devient très-violent, parce qu'il n'est plus contre-balancé par celui qui était produit en sens contraire.

Si l'on interrompt les contacts et que l'on complète le circuit dans le liquide, on trouve que le mercure a acquis de nouvelles propriétés. M. Herschel ayant introduit un globule de mercure pur dans une solution de sulfate de soude, et la communication ayant été établie avec le liquide sans toucher au mercure, le courant a eu lieu du fil négatif. Un contact momentané ayant été établi entre ce fil et le mercure, on a eu sur-

le-champ un contre-courant du pôle positif moins étendu, mais en apparence plus violent que celui du côté du pôle négatif. Le globule a pris la forme indiquée par la figure 85 *bis*.

Le contact ayant été établi ensuite avec le pôle positif pendant long-temps, il n'y a pas eu d'oxidation à la surface, mais on a observé constamment des courants violents, qui rayonnaient dans toutes sortes de directions du fil et vers le point Z; peu à peu il s'est établi une contre-radiation au pôle négatif, qui a fini par atteindre le fil positif. A l'instant où cet effet a eu lieu, l'oxidation du mercure a commencé en Z, et s'est étendue sur toute la surface en formant une croûte épaisse. En continuant l'expérience, le mercure s'est débarrassé de sa croûte. En interrompant le contact à l'instant où la croûte était entièrement formée, il s'est produit une radiation du fil négatif qui brisait la croûte et la balayait vers C, où elle se rassemblait et se dissipait. A l'instant où cet effet a eu lieu, il s'est opéré une violente révulsion, et un courant puissant est parti de C, l'autre ayant été anéanti. En analysant ce phénomène, M. Herschel a trouvé que le fil de platine négatif s'était amalgamé avec un peu de mercure allié à du sodium; dès lors il attribua les nouvelles propriétés acquises par le mercure à la présence du sodium. Il en acquit la preuve en ajoutant au mercure une très-petite quantité de sodium, car il se produisit à l'instant même une violente rotation négative, quoique aucun des fils ne touchât le mercure.

Il résulte de là que la présence du sodium ou du potassium contre-balance l'effet du pôle négatif et exalte celui du pôle positif, jusqu'à ce qu'enfin il le surpasse entièrement et même renverse le premier effet.

450. M. Herschel a cherché à expliquer la révulsion qui s'opère dans la direction des courants lorsque la dernière portion d'oxide disparaît. Il fait d'abord remarquer que l'oxidation a lieu sur la surface du métal avant que les dernières portions du sodium soient enlevées. Il a

démontré ensuite que le sodium existe dans le mercure lorsqu'il a acquis la propriété de produire des courants venant du pôle positif par son contact avec le fil négatif. Il suffit d'enlever le fil négatif et de rompre le circuit; le mercure reste alors tranquille au fond du vase. Si on le touche ensuite sous le liquide avec un fil métallique quelconque (dont les extrémités cependant ne soient pas alliées au sodium), on observe aussitôt une violente action : le mercure se précipite de tous côtés vers le fil comme pour se débarrasser de son sodium, et il se dégage alors beaucoup d'hydrogène, non-seulement au point de contact avec le mercure, mais encore à tous ceux où il touche le liquide. Il en conclut que le sodium, le fil et le liquide forment une combinaison voltaïque dont l'action est assez forte pour décomposer le liquide; lorsque l'opération est terminée, le mercure a perdu sa faculté positive, c'est-à-dire celle de produire des courants venant du pôle positif; il revient à son ancien état.

451. Passons aux effets produits par différents métaux dans leur contact et leur amalgamation avec le mercure; prenons pour liquides conducteurs des solutions alcalines concentrées, afin de donner au liquide un pouvoir conducteur plus grand, et d'éviter les courants dans le mercure tant qu'aucun fil n'est pas en contact avec lui.

Potassium. Des contacts d'une seconde entre le pôle négatif d'une pile de huit paires faiblement chargée, au-dessous de la potasse liquide, donnent à 100 grains de mercure la propriété de tourner violemment du pôle positif au pôle négatif. Quand le mercure ne renferme qu'un millionième de son poids de potassium, le mouvement de rotation est encore puissant.

Sodium. On a obtenu des résultats semblables avec une solution de soude.

Ammoniaque. Quand du mercure placé au-dessous d'une solution de soude, renferme une grande quantité de l'amalgame ammoniacal, le mercure reste en repos.

Barium. L'amalgame de barium se forme rapidement

en employant l'action de la pile de huit paires et le chlorure de barium. Cet alliage introduit dans le mercure lui donne la propriété positive. Il y a inversion dans la direction des courants lorsque cet amalgame est introduit dans du mercure tenu dans un état de rotation négatif au-dessous de l'acide oxalique. Le mercure qui renferme du barium, jouit également de la propriété de former une combinaison voltaïque avec un fil mis en contact avec lui au-dessous d'une solution saline.

Le *strontium*, le *calcium* ont donné de faibles effets. Au-dessous d'une solution de strontium, le contact du fil négatif communique sensiblement la propriété rotatoire positive.

Le *magnesium* produit des effets plus marqués que les précédents, en raison de la faculté dont il jouit de se combiner plus facilement avec le mercure.

Zinc. Une très-petite quantité d'amalgame solide de zinc ajoutée au mercure lui donne la propriété positive, même sans que le mercure soit en contact avec aucun des pôles.

Un alliage composé d'une partie de zinc et de 10,000 de mercure tourne avec une très-grande violence; en ajoutant dix fois plus de mercure, la force de rotation paraît peu diminuée; le courant est encore sensible quand le zinc ne forme plus que le $\frac{1}{7000000}$ de la masse.

Plomb. Un alliage de 200 parties de mercure et de une de plomb possède à un haut degré la propriété positive, qui est encore sensible quand le plomb n'est que la millième partie de la masse.

Étain. Agit à peu près comme le plomb.

Le *fer* communique la même propriété, bien qu'il se trouve dans le mercure en quantité si petite que les réactifs ordinaires ne puissent y reconnaître sa présence.

Cuivre. Ce métal est sans action.

Antimoine. Exerce une action sensible.

Bismuth, or, argent. Ces métaux, quand ils se trouvent en quantité très-notable dans le mercure, ne lui communiquent pas le pouvoir rotatoire.

De toutes ces expériences, nous devons tirer la conséquence que la propriété rotatoire est réservée aux métaux qui sont le plus oxidables.

452. M. Herschel ne s'est pas borné à faire les expériences avec le mercure; il a voulu voir ce qui se passait avec différents métaux en fusion, mais il a éprouvé tant de difficultés qu'il n'a pu réussir jusqu'ici qu'avec l'alliage fusible de plomb, d'étain et de bismuth. Cet alliage a été tenu constamment en fusion au-dessous d'une solution bouillante de sucre acidulée avec de l'acide phosphorique pour la préserver de pellicules superficielles d'oxide. Il a obtenu, comme avec le mercure, une circulation du pôle négatif au pôle positif. En n'opérant qu'avec une solution de sucre sans acide, l'influence de l'étain et du plomb devint sensible, la radiation prédominante se manifesta du pôle positif, et il y eut en même temps un contre-courant du pôle négatif.

Le mercure manifeste des propriétés particulières par le contact du pôle positif, non moins marquées, lesquelles paraissent dépendre, jusqu'à un certain point, de la couche d'oxide formée à sa surface. Nous allons rapporter quelques observations à cet égard.

Des quantités égales de mercure ayant été électrisées, dans des temps égaux, dans des capsules séparées, sous des solutions semblables de carbonate de soude, l'une en contact avec le fil négatif et l'autre avec le fil positif; en les mêlant ensemble le mercure se comporta comme s'il était très-pur, et ne donna, par conséquent, aucun signe de la présence du sodium. Ce résultat est facile à concevoir; nous ne nous y arrêterons pas.

Quand le mercure est mis en contact seulement avec le pôle positif, sa surface se recouvre d'une couche d'oxide : en rompant non-seulement le contact, mais même le circuit, le mercure reste en repos; mais si on le touche avec un fil de métal très-propre, l'oxide s'éloigne rapidement du point de contact, et celui qui est autour se précipite de tous côtés à sa place, de manière à produire un courant rayonnant vers le fil. Les métaux

qui produisent le plus d'effet sont : le potassium, le sodium, le barium, l'étain et le zinc. L'étain est supérieur au zinc, le fer produit un effet assez considérable, celui du cuivre est moindre, l'antimoine et le platine n'en produisent aucun. Nous voyons, d'après ces propriétés diverses, que les effets dépendent et de l'oxidabilité des métaux, et de leur facilité à s'amalgamer.

En électrisant le mercure en contact avec le pôle positif sous le nitrate de cuivre, rompant le circuit et enlevant les fils, le courant continue, quoique faiblement, pendant quelques instants, du pôle positif au pôle négatif. Ce courant devient insensiblement plus intense, et la pellicule qui s'était formée pendant l'action de la pile est chassée du côté négatif en laissant brillante la surface du mercure contiguë à Z. Dès l'instant que cet effet est produit, les courants deviennent plus intenses en partant du point Z, et persévèrent pendant longtemps.

453. M. Herschel, qui a étudié avec soin les différents mouvements que nous venons de décrire, pense qu'une des causes qui exercent une grande influence sur leur production est la grande différence de conductibilité entre les corps métalliques mis en mouvement et le liquide au dessous duquel ils sont immergés. Il pense aussi que, puisqu'il n'a jamais pu obtenir de courants sans la présence d'un métal liquide, la seconde cause déterminante est une immiscibilité parfaite des liquides conducteurs de manière à rendre la transition de l'un à l'autre brusque. La troisième cause, qu'il regarde aussi comme essentielle, est une certaine relation chimique entre les corps employés. Voici maintenant comme il explique ces phénomènes (1) : « Il est très-possible, par « exemple, qu'un corps puissamment électro-positif, « existant dans du mercure, puisse avoir son état élec- « trique naturel exalté par son voisinage du pôle positif,

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVIII, p. 310.

« et étant ainsi repoussé, qu'il puisse prendre le seul « chemin que la résistance du métal d'un côté et la co- « hésion de l'autre lui permettent, c'est-à-dire le long de « la surface pour s'éloigner du pôle positif. Il peut même « agir comme un transporteur d'électricité positive qui « peut lui adhérer trop fortement pour être transmis à « travers le mercure (qui, quoique un bon conducteur, « est loin d'en être un parfait) et arriver à un autre côté « du globule, et peut là, par l'influence du pôle opposé, « perdre son état électrique exalté. »

M. Herschel pense que l'on pourrait considérer l'action qui a lieu à la surface commune de deux milieux inégalement conducteurs, comme dépendante d'un nouveau pouvoir du courant électrique d'une nature ayant quelque analogie avec l'action magnétique, ou peut-être en résultant. Il n'est point improbable, ajoute-t-il, que plusieurs phénomènes des petits mouvements intestinaux ordinairement attribués à l'attraction capillaire, à des productions de chaleur ou à d'autres causes, puissent être rapportés à des effets électriques. Il semble y rapporter également les mouvements décrits par M. Amici dans la sève du chara. Ce mouvement ressemble si fort à celui qu'on observe lorsqu'un courant électrique passe sur une rangée de petits globules de mercure placés sous un milieu conducteur, qu'il n'y a pas de difficulté à concevoir une analogie entre les causes.

§ II. *Développements donnés par M. Nobili sur les observations précédentes.*

454. M. Nobili (1) a donné de nouveaux développements sur les phénomènes que nous venons d'exposer.

Quand on plonge deux pointes dans une solution de sulfate de soude, qui recouvre une couche de mercure, on voit aussitôt se former autour des pointes n et p (fig. 86)

(1) Bibliothèque de Genève, t. XXXV, p. 266.

deux systèmes de courants. En regardant le mercure obliquement, on remarque à la surface des limites $n' n' n''$, $p' p' p''$, au-dedans desquelles le mercure est un peu plus déprimé qu'au dehors, et qui correspondent aux contours des apparences électro-chimiques dont nous nous occuperons plus tard. Au milieu, en $o\ o$, le mercure présente une ou deux lignes où la surface paraît agitée comme par deux courants opposés. Tout porte à croire que la cause du mouvement est à la surface du mercure, et que le liquide supérieur ne fait qu'obéir à l'impulsion imprimée aux molécules du métal. Il se forme fréquemment autour de p une petite quantité d'oxide qui est transportée par les courants en dehors et vers le contour $p' p' p''$, où elle s'accumule; une partie est chassée jusque vers n, où elle se réduit. L'ovale $n' n' n''$ se comporte comme les courants rayonnants qui lui correspondent; il se resserre et s'évanouit avec eux. M. Nobili attribue la disparition des courants négatifs, ainsi que celle de l'ovale $n' n' n''$, à la couche d'oxide que les courants positifs poussent au-delà de leurs limites ordinaires; car il suffit de mettre obstacle à l'expansion de cette couche au moyen d'une lame de verre, pour voir l'oxidation s'accroître en p et les courants négatifs se maintenir en vigueur. Cet obstacle finit par donner à l'oxidation, en $p' p' p''$, une consistance assez forte pour détruire les courants positifs; mais si l'on enlève la lame de verre qui forme l'obstacle, avant que l'oxidation soit très-avancée, la pellicule d'oxide se rompt en plusieurs fragments, et ceux de l'intérieur se répandent vers le côté négatif, où ils sont absorbés et réduits comme on l'a dit précédemment. Ils vont ranimer les courants positifs et affaiblir les négatifs. Les rayonnements dont nous venons de parler ont lieu dans d'autres solutions, mais ils manquent plus ou moins dans quelques-unes, en raison de la diversité de leur nature. Dans le sulfate de soude, lorsque le mercure s'oxide dans la région positive, les courants correspondants manquent complétement, et dans tous les cas, il arrive toujours que

l'une ou l'autre des espèces d'éléments couvre le mercure de couches d'une certaine épaisseur.

En opérant avec des dissolutions métalliques dont les bases sont facilement réductibles, ces bases se présentent alors sous la forme de couches plus ou moins consistantes. Il n'y a pas dans ce cas de courants négatifs, mais bien à la surface du mercure un faible reflux qui se manifeste par le changement de figure que subit la matière là où elle reçoit la couche électro-positive. Le contraire a lieu quand le mercure se trouve sous une solution alcaline; dans ce cas les métaux des alcalis et des terres ne couvrent d'aucune couche le pôle qui les attire à lui. Il laisse cette partie du mercure aussi liquide et aussi brillante que s'il ne s'y était pas porté.

455. M. Nobili a observé que les courants positifs manquent toutes les fois que les éléments électro-négatifs, l'oxigène et les acides se déposent en couches très-minces sur la surface du mercure. Ce physicien a déduit des expériences que nous venons de rapporter cette proposition : Les courants ne se forment que là où manquent les couches qui produisent les apparences électro-chimiques. Il ajoute : « Sans nous embarrasser de « savoir si cette impulsion est le résultat d'un trans- « port réel d'éléments d'un pôle à l'autre, opéré, comme « cela paraît vraisemblable, par le courant électrique, « nous admettons l'existence de cette force; et la dé- « composant en deux autres, l'une verticale, l'autre « horizontale, nous attribuons à l'action de la première « la dépression du mercure au-dedans des contours « $n'n'n''$, $p'p'p''$, et à la seconde le rayonnement du « métal autour des centres p, n. La cohésion qui règne « entre les molécules des métaux solides détruit l'un et « l'autre effet, d'où l'on conçoit clairement comment la « formation des courants est nécessairement liée à l'état « de fluidité du métal introduit sous les conducteurs « humides, et comment les courants sont supprimés sur « le mercure quand il se couvre de voiles qui lui ôtent « sa mobilité. Les liquides superposés ne font autre

« chose que suivre le mouvement imprimé aux molé-
« cules du mercure. Il faut donc, pour apprécier la ra-
« pidité de leur déplacement, tenir compte du degré de
« mobilité que possèdent ces divers liquides sur le mer-
« cure; les plus mobiles résistent le moins et donnent
« lieu, toutes choses égales, à des courants plus rapides;
« les moins mobiles restent, et ralentissent le mouve-
« ment: il y a un liquide qui possède à un degré émi-
« nent la propriété dont il s'agit, c'est l'acide sulfuri-
« que, dont les gouttes, comme on sait, s'étendent sur
« le mercure avec une rapidité extraordinaire. En rap-
« pelant cette circonstance, il est bon de faire remar-
« quer que les courants qui se forment dans le mercure
« recouvert de cet acide, sont les plus rapides que l'on
« connaisse, et s'obtiennent si facilement qu'il suffit
« pour cela de la force électro-motrice la plus faible.
« Les courants qui naissent dans ce cas sont des cou-
« rants positifs; mais en faisant l'expérience avec la
« disposition ordinaire, on ne voit autour de p (fig. 85)
« aucune trace de l'ovale $p'p'p''$. L'absence de cette ta-
« che prouve, d'une autre manière, combien l'acide
« sulfurique l'emporte, par sa mobilité, sur les autres
« liquides, lesquels obéissent beaucoup moins facile-
« ment à l'action de la composante horizontale, laissant
« toujours à la composante verticale le temps de pro-
« duire sur le mercure un enfoncement sensible. En
« $n'n'n''$ sous la pointe positive, il se forme une cou-
« che de petites bulles d'hydrogène. La rapidité des
« courants positifs transporte cette apparence vers B.

« Les particules de mercure, comme celles de tout
« autre fluide, ne peuvent pas se mouvoir dans une seule
« direction, à la surface de la masse métallique, sans re-
« prendre l'équilibre, en revenant en arrière par l'intérieur
« de cette masse. Ces courants internes produisent divers
« changements des figures, qui consistent le plus souvent
« en un allongement vers les pôles primitifs, dont nous
« ne parlerons pas dans ce Mémoire, parce que ces
« particularités ont été observées avec soin par M. Hers-

« chel, et expliquées par lui, de la manière la plus sa-
« tisfaisante.

« Nous ne pensons pas du reste que ce principe ait
« aucune part aux agitations que subit le mercure dans
« certaines circonstances données. Le plus simple des
« phénomènes de ce dernier genre est celui qui a été
« observé pour la première fois, il y a trois ans, peu
« après que M. Herschel eut la complaisance de me
« communiquer, à Modène, quelques résultats de ses
« expériences.

« Je plonge une goutte de mercure dans un bain
« d'acide sulfurique, et je la touche vers le bord, avec
« l'extrémité d'un fil de fer : à ce contact la goutte se
« contracte visiblement. Après avoir obtenu cette con-
« traction, je retire d'abord de la goutte la pointe de
« fer; alors la goutte s'étend et reprend sa figure na-
« turelle. Mais dans ce mouvement d'extension elle vient
« rencontrer la pointe de fer, et se contracte de nou-
« veau, pour s'étendre ensuite, continuant ainsi un
« mouvement alternatif de contraction et de dilatation,
« tant que dure l'action voltaïque des trois éléments,
« *mercure*, *fer* et *acide*. »

Le fer et les métaux, facilement oxidables, produisent seuls cette espèce d'agitation qu'on n'obtient pas par le contact de l'or et du platine. M. Nobili en conclut qu'il n'y a aucun courant électrique en jeu et que le phénomène est de nature électro-chimique. Il a cherché d'où provenait la cause de la première contraction d'où dépend le reste du mouvement. La goutte recevant sur elle les éléments électro-positifs de l'acide et de l'eau qui y est contenue, subit en même temps une pression proportionnelle à l'impulsion avec laquelle les éléments arrivent à leur destination. Il attribue, par conséquent, la contraction à l'action de cette force. Il a remarqué, comme M. Herschel l'avait fait avant lui, que les aimants les plus vigoureux, placés très-près du mercure électrisé, sont sans influence sur les courants qui s'y

manifestent. Il cite cette nullité d'action comme une preuve de l'origine mécanique du mouvement.

456. M. Nobili ayant répété l'expérience du sulfate de soude à l'instant où les courants positifs l'emportent d'une manière décisive sur les courants négatifs, transporte la solution de p en n (fig. 85). Les points N, P (fig. 86) étant toujours un peu soulevés au-dessus du mercure, il abaissa la pointe N et la plongea dans le métal, avec lequel elle forma aisément un amalgame. Les courants négatifs se ranimèrent sous l'impulsion des éléments électro-positifs de la solution, parmi lesquels le sodium occupe la première place; il se forma un amalgame de sodium. Alors il observa les effets suivants: à l'instant où l'on retirait du mercure la pointe N, les courants positifs disparaissaient autour du point p. On eut alors un système de courants qui, de tous les points de la circonférence du mercure, convergent rapidement vers le centre p (fig. 87). Ces courants n'ont pas tous la même vitesse : ceux qui viennent du point N sont évidemment les plus rapides. En $p'p'p''$ on voit un enfoncement de forme ovale, environné en $p'p'$, d'un bord un peu relevé et ondoyant : là le mercure présente en dedans une proéminence plus ou moins irrégulière, en forme de langue ou de crête, due sans doute à la rencontre qui a lieu en cet endroit des courants arrivant de toutes parts et animés de vitesses inégales. La tache $p'p'p''$ n'est pas disposée autour du point p comme l'ovale de la fig. 85, elle est notablement infléchie en A, à cause de l'excès de vitesse des courants de la partie opposée; cet excès peut être assez considérable pour transporter toute la dépression au-delà du point central p.

457. Si le mercure renferme quelques impuretés, elles se rassemblent soudainement au-dedans de l'espace $p'p'p''$, où elles tournent ordinairement en façon de tourbillon. Si le mercure est parfaitement pur, l'espace reste brillant pour un certain temps. La tache a dans tous les cas devant elle une ligne ou bande plus ou moins vive

m m m, qui s'avance vers le point *n*, à mesure que le mouvement diminue, et finit par former l'ovale ponctué autour de ce dernier point.

458. La plus importante des circonstances à décrire, et qui n'a pas échappé à M. Herschel, consiste dans l'inversion du mouvement, à l'endroit des courants positifs. Un tel renversement ne peut être dû qu'à la présence du sodium, comme le démontrent les expériences comparatives, faites par le physicien anglais. Mais comment ce principe peut-il produire un effet aussi singulier?

La fossette qui se forme en *p' p' p''* prouve que c'est là le lieu de rassemblement des éléments électro-négatifs de la solution, parmi lesquels se trouve l'oxigène.

Le sodium, qui a une forte tendance à s'unir avec ce principe, accourt de toutes parts là où il se trouve à l'état naissant, et détermine ainsi un système de courants très-rapides, directement opposé au rayonnement qui a lieu lorsque le mercure privé de ce métal éminemment oxidable n'a d'autre chose à faire que de propager du centre à la circonférence l'impulsion qu'il reçoit des éléments électro-négatifs.

Tandis qu'une partie du sodium arrive de tous les côtés pour se convertir en alcali sous l'influence de l'oxigène, le mercure lui-même reçoit sur son pôle négatif une autre partie de ce sodium qui produit les courants négatifs ordinaires *n n'*, *n' n'' n' n''*; mais comme ces courants se déterminent sur une surface qui, à cause du sodium qui s'y trouve, marche vers la fossette *p' p' p''*, le contour ordinaire de l'apparence négative se déforme et s'allonge, au point d'être transporté du côté interne, jusqu'en *m m m*. Et c'est en vertu de ce transport que l'autre dépression *p' p' p''* se courbe notablement vers A. Celle-ci se relève et se reforme autour de son centre, à mesure que le mouvement s'affaiblit, par la perte de sodium que subit l'amalgame. Il l'a perdu en entier, ou à peu près, quand l'ovale reparaît autour du point *n*. Ce signal qui ne manque jamais, indique que l'oxigène de l'apparence positive qui n'a plus de sodium à oxider,

attaque alors le mercure et le couvre d'une couche qui empêche bientôt toute espèce de mouvement.

§ III. *Des phénomènes de mouvements produits dans les alliages de potassium et d'antimoine ou de bismuth, pendant leur décomposition sur des bains de mercure aqueux.*

459. M. Sérullas (1) a observé un fait assez remarquable en projetant un alliage de potassium et d'antimoine sur un bain de mercure aqueux, c'est-à-dire sur du mercure recouvert d'une petite couche d'eau; cet alliage tourne alors rapidement. Le phénomène se produit mieux avec l'amalgame de bismuth. La pellicule légère qui se forme n'est que du bismuth divisé qui renferme entre ses molécules des bulles d'hydrogène extrêmement fines. Cette pellicule est attirée avec une grande promptitude par les substances métalliques mises en contact avec le mercure sur lequel les fragments d'alliage sont en mouvement.

Cette pellicule se porte vivement vers l'extrémité négative d'une pile et est repoussée au contraire par le pôle positif. Cet effet semble faire croire que les particules du bismuth, à l'instant où elles se séparent du potassium, sont électrisées positivement; or, nous savons qu'elles doivent être au contraire électrisées négativement; il faut donc qu'elles partagent l'électricité positive que laisse échapper l'hydrogène dans la décomposition de l'eau. Quand les deux conducteurs touchent seulement l'eau du bain, l'attraction et la répulsion ont lieu dans le sens indiqué.

Quand, au lieu d'eau simple, le bain de mercure est recouvert d'une solution peu chargée de chlorure de sodium, le tournoiement des fragments d'alliage est

(1) Journal de Physique, t. XCIII, p. 120.

plus lent; l'hydrogène produit se trouve engagé et retenu presque entièrement par la pellicule de bismuth et l'eau en devient nébuleuse. A l'instant où l'on plonge dans le bain en contact avec le mercure, une tige de zinc, de fer, de cuivre, de laiton, d'étain, d'argent et même de bismuth, on remarque autour de celle-ci un frémissement; les mouvements cessent, et sont arrêtés tant que la tige reste plongée : elle fixe la pellicule dans toute l'étendue du bain. Les fragments d'alliage y sont emprisonnés, mais aussitôt que la tige est retirée, l'effluve d'hydrogène écarte la pellicule, et les mouvements recommencent. Ce résultat s'explique facilement : le fil étant l'élément électro-négatif du couple voltaïque, doit attirer naturellement l'hydrogène.

Un fil métallique étant plongé sur un point quelconque d'un bain où tournoie de l'alliage, même dans un endroit éloigné de ce tournoiement, la partie immergée se couvre en peu de temps d'une multitude de bulles d'hydrogène.

460. Nous devons encore à M. Serullas les observations suivantes : une simple tige métallique, placée au milieu ou sur un point quelconque d'un bain de mercure en action par le potassium ou par un alliage de ce métal, attire autour d'elle l'eau du bain, qui s'élève au-dessus du niveau. Un douze-cent-millième et encore moins de ce bismuth dissous dans le mercure peut être rendu visible par l'addition d'une certaine quantité d'amalgame de potassium et d'un peu d'eau. On voit aussitôt s'élever du sein de la masse une poudre noire, mélange de bismuth et de mercure très-divisé, qui vient se placer à la surface ou qui adhère aux parois du vase au-dessous du mercure.

Le cuivre, le plomb, l'étain, l'argent, sont séparés également, mais moins promptement et moins visiblement que le bismuth. M. Serullas pense qu'il n'existe pas en chimie un réactif aussi sensible pour aucun corps que l'amalgame de potassium, pour reconnaître la présence du bismuth dissous dans le mercure. Il

fait observer que l'amalgame de potassium pur ne se décompose que très-lentement, même au contact de l'air et de l'eau, puisque l'on peut rendre l'action encore très-sensible après vingt-quatre heures, en le touchant avec une tige métallique; mais comme l'action a lieu immédiatement qu'on opère le contact, il faut en conclure qu'il se forme aussitôt un élément voltaïque; dès lors, si l'on emploie du mercure qui renferme une petite quantité de bismuth, ce dernier métal suffit pour constituer l'élément voltaïque; la décomposition se trouve activée, et le bismuth se sépare en restant combiné avec une petite quantité de mercure.

Cette séparation est néanmoins assez difficile à expliquer. M. Serullas pensait qu'à mesure qu'une molécule de l'eau interposée se décompose au contact du potassium, la molécule d'hydrogène et celle de potasse qui en résulte, placées entre le bismuth et le mercure, ne peuvent pas s'y maintenir dans leur nouvel état; elles écartent les molécules des deux métaux, détruisent ainsi la combinaison, les entraînent avec elles à la surface, en raison de la pesanteur spécifique moindre qu'elles ont naturellement et qui est encore augmentée par l'hydrogène dont elles sont pour ainsi dire enveloppées; on voit effectivement, à l'aide de la loupe, les bulles d'hydrogène traînant les parcelles métalliques, se porter assez rapidement vers le point où s'établit la pile principale par la réunion du métal séparé.

Le bismuth qui, d'abord combiné dans l'amalgame, n'a pas d'action, devient, à mesure qu'il est séparé, métal étranger, et forme, par chacune de ses molécules, une multitude de piles qui rendent la décomposition de l'eau de plus en plus vive et pour ainsi dire tumultueuse. Le mercure fait la plus grande partie de la poudre noire, parce qu'il se trouve dans la combinaison en plus grande proportion que le bismuth, qui n'y existe, dans le cas dont il est ici question, que dans le rapport de $\frac{1}{1200000}$.

CHAPITRE VI.

EXPOSÉ GÉNÉRAL DES DÉCOMPOSITIONS ÉECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *De la nomenclature électro-chimique.*

461. Quand une science fait de rapides progrès et qu'elle s'enrichit journellement de nouveaux phénomènes, on se trouve quelquefois dans la nécessité de modifier la nomenclature; c'est à cette époque de progrès que des noms différents sont donnés par divers savants à la même chose. Il en résulte momentanément une confusion de termes dont la science se débarrasse aisément, pour ne conserver que ceux qui lui sont véritablement utiles. Loin de rejeter ces termes, on doit les examiner, les étudier et prendre autant que possible ceux qui sont le plus généralement adoptés.

Aussitôt que l'on eut découvert la propriété dont jouit la pile, d'opérer la décomposition d'un liquide, au moyen de deux fils ou lames de platine, plongeant dans ce liquide, et en communication chacune avec l'une des extrémités de la pile, on donna le nom de pôles à ces fils ou lames; celui de pôle positif à celui où se rendaient l'oxigène et les oxides, et celui de pôle négatif à celui où se rendaient l'hydrogène et les bases. On s'aperçut bientôt combien cette dénomination était impropre, puisqu'elle ne présentait à l'esprit que de fausses analogies, soit qu'on la comparât à celle qui s'applique aux pôles d'un cercle ou à celle d'une pla-

nète ou d'un aimant. Pour obvier à cet inconvénient, M. Ampère proposa d'appeler réophores (porte-courants) les portions de conducteur soudées aux extrémités de la pile, et de désigner sous le nom de rhéophore positif celui qui apportait l'électricité positive, et de rhéophore négatif celui qui transmettait l'électricité négative. D'un autre côté, dès l'instant que l'on eut soupçonné une origine électrique aux actions chimiques, les corps transportés au pôle positif furent appelés électro-négatifs, et les corps transportés au pôle négatif, électro-positifs, par suite du principe qu'il y a attraction entre deux corps chargés d'électricités contraires. Cette dénomination fut rejetée par les physiciens, qui ne reconnurent pas aux atomes des propriétés telles que l'atome oxigène était éminemment négatif et l'atome hydrogène éminemment positif, à l'instant où l'un et l'autre se séparaient.

M. Faraday, en partant du principe dont nous parlerons plus loin, que la force déterminante qui opère la décomposition n'existe pas aux pôles, mais bien dans le corps décomposé, et que l'oxigène et les acides se rendent à l'extrémité négative de ce corps, l'hydrogène et les métaux, à son extrémité positive, a considéré les pôles ou les rhéophores comme les portes par lesquelles le courant électrique débouche dans le corps décomposant; c'est pour ce motif qu'il leur a substitué le mot électrode, dérivé d'ἤλεκτρον et de ὁδὸς, route; il entend par là la surface de l'air, de l'eau, du métal ou de tout autre corps qui borne l'étendue de la matière décomposée dans la direction du courant.

Désirant avoir une mesure naturelle de la direction électrique, il a cherché cette mesure dans la terre. Si le magnétisme de la terre est dû à des courants électriques circulant autour d'elle, ces derniers doivent être dirigés constamment de l'est à l'ouest; or, si dans certains cas de décompositions chimiques le corps décomposé est placé de manière à ce que le courant qui le traverse ait la même direction et soit parallèle à celui qu'on

suppose exister dans la terre, alors les surfaces par lesquelles passe l'électricité auront un rapport invariable et montreront toujours la même relation de pouvoir. M. Faraday propose en conséquence d'appeler l'électrode qui est tournée vers l'est, anode, ἀνὰ, en haut, ὁδὸς, chemin, route par où s'élève le soleil, et celle vers l'ouest catode, κατὰ, en bas, ὁδὸς, route par où le soleil disparaît. L'anode est donc la surface par laquelle entre le courant électrique; c'est celle où se montrent l'oxigène, le chlore et les acides; la catode est la surface où le courant abandonne le corps décomposé; c'est celle où se développent l'hydrogène, les corps combustibles, les métaux, etc.

Il appelle électrolytes les corps dont les éléments sont mis à nu, mot dérivé de ἤλεκτρον et λύω, je délie; l'eau est donc un électrolyte. Les corps qui, comme les acides nitrique et sulfurique, ne sont pas réduits à leurs éléments simples, ne se trouvent pas compris dans cette catégorie; ceux qui éprouvent la décomposition électrochimique sont électrolysés; électrolyser est synonyme d'analyser au moyen de l'électricité.

L'acide hydro-chlorique est donc un corps électrolytique, l'acide borique ne l'est pas, attendu que les deux éléments du premier sont séparés, tandis que ceux du second ne le sont pas. Pour exprimer les corps qui peuvent passer aux électrodes ou aux pôles, on est dans l'usage de dire qu'ils sont électro-négatifs ou électro-positifs. M. Faraday a proposé d'appeler anions (ἀνιὸν, qui va en haut), les éléments qui vont à l'anode des corps décomposants; cassions (κατιὸν, qui va en bas) ceux qui passent aux catodes; et les deux réunis, ïons. Ainsi, le chlorure de plomb est un électrolyte: quand il est électrolisé, les deux ïons, le chlore et le plomb, sont séparés, le premier est un anion et le dernier un cassion.

Nous pensons avec M. Faraday que le mot électrode est très-bien choisi; mais néanmoins nous ne voyons aucun motif pour abandonner les dénominations de conducteurs positif ou négatif; de pôles positifs ou négatifs, bien que vicieuse, attendu qu'elles sont consacrées par l'usage et que l'on sait parfaitement ce qu'elles expriment.

D'un autre côté, comme on doit éviter, autant que possible, les nouveaux mots, il nous semble qu'au lieu d'anode et de cathode, on peut employer les dénominations d'électrode positive et d'électrode négative; aussi le ferons-nous quelquefois dans le cours de cet ouvrage. L'expression électrolyser est excellente, et devrait être adoptée. Quant aux anions et aux cassions, nous leur préférons les anciens noms d'électro-négatif et d'électro-positif.

§ II. *De l'identité des décompositions chimiques, opérées avec des électricités émanées de diverses sources.*

462. Commençons par indiquer quelques-unes des propriétés communes à l'électricité des machines et à celle de la pile, dont nous avons besoin pour l'exposé des phénomènes électro-chimiques.

On sait que les phénomènes électriques se divisent en deux classes, quelle que soit la source d'où émane l'électricité : phénomènes relatifs à l'électricité de tension, et phénomènes relatifs à l'électricité en mouvement.

Considérons d'abord l'électricité voltaïque : les deux électricités contraires qui s'accumulent aux deux extrémités d'une pile composée même d'un grand nombre de paires, quoique considérables en quantité, ont une faible tension, puisque l'on n'obtient aucun indice de courant quand on essaie de les décharger avec des pointes très-fines et suffisamment rapprochées.

Cette électricité se comporte comme celle d'une batterie électrique. Dans toutes les épreuves auxquelles on la soumet, nous citerons en particulier celle qui suit :

L'air échauffé déchargeant l'électricité ordinaire avec une grande facilité, on trouve aussi que l'électricité voltaïque peut être déchargée de cette manière : on prend (fig. 88)(1) une baguette de verre AB, sur laquelle deux fils de cuivre C, D sont fortement fixés, et à deux extrémités desquels sont deux autres fils fins de platine,

(1) Transact. phil., 1833, p. 23. Faraday.

dont les bouts libres sont très-près l'un de l'autre en *e;* le fil de cuivre C est mis en communication avec le pôle positif, et le fil D avec un appareil propre à produire des décompositions et communiquant lui-même avec le pôle négatif. On n'aperçoit d'abord aucun signe de décomposition, mais aussitôt que l'intervalle est placé dans la flamme d'une lampe à alcool, de manière que la température des deux extrémités des fils de platine soit portée au rouge, la décomposition commence aussitôt; cette expérience prouve que le transport de l'électricité voltaïque s'effectue au travers de l'air chaud, observation qui a été faite pour la première fois par Gautherot (1).

En remplaçant l'appareil de décomposition par un multiplicateur, on obtient aussi des déviations, quand on élève suffisamment la température des fils de platine; l'effet seulement est moins marqué que dans l'expérience précédente. Ce résultat est évidemment un cas particulier du fait bien remarquable qui a été découvert par Davy, savoir, que l'on fait passer la décharge d'une batterie puissante entre les extrémités de deux conducteurs en charbon, en les éloignant graduellement après les avoir mis en contact.

On peut donner encore une preuve de la grande quantité d'électricité fournie par la pile, dans l'expérience suivante qui est due à Davy : quand les deux conducteurs d'une batterie voltaïque sont mis en communication avec une batterie électrique, celle-ci se charge rapidement à l'instant et devient capable de produire le choc et une étincelle.

La différence caractéristique qui existe entre l'électricité dégagée par les machines ordinaires et celle qui est produite dans les batteries voltaïques, consiste donc en ce que la première a une très-forte tension pour une petite quantité, tandis que la seconde est très-considérable et ne possède qu'une petite tension. Nous allons

(1) Histoire du Galvanisme, par Sue.

examiner successivement les effets chimiques produits par chacune de ces électricités. L'électricité des machines, en raison de sa tension élevée, passe à travers l'eau pure, les solutions ou d'autres substances rangées parmi les corps dont la conductibilité est médiocre. Il n'en est pas de même de l'électricité voltaïque, qui éprouve, en traversant ces corps, un affaiblissement tel que son action y devient à peine sensible.

463. M. Faraday, dans le but d'étudier le mode d'action de ces deux espèces d'électricité, agissant comme force chimique, a fait quelques expériences que nous allons rapporter; elles serviront aussi à jeter quelque jour sur le transport des éléments d'un corps décomposé, vers les pôles de l'appareil électrique. Ayant pris une bande de papier tournesol et une autre de curcuma, il les humecta dans une solution de sulfate de soude et les unit par un de leurs bouts; le fil conducteur de la machine, représentant le pôle positif, fut mis en contact avec le papier tournesol, et un autre fil conducteur représentant le pôle négatif, et communiquant au sol fut mis en rapport avec le papier de curcuma. Quelques tours de la machine suffirent pour montrer sur les papiers à réactifs les mêmes effets que ceux qui sont produits par la pile.

La décomposition chimique eut également lieu lorsque les deux bandes de papier furent placées sur une plaque de verre, et unies par un fil de métal isolé, long de 4 pouces, et humecté de la même solution. Les mêmes expériences furent faites avec de l'iodure de potassium, afin de s'assurer si la grande extension du conducteur humide, en décomposition, produisait quelque affaiblissement dans l'effet; n'en ayant pas trouvé, il fut prouvé, par ces expériences, que la distance entre les pôles, quelque grande qu'elle fût, n'apportait aucun affaiblissement dans l'effet décomposant. La pointe négative de l'appareil, le papier de curcuma et le lien conducteur ayant été enlevés, la pointe positive fut laissée en contact avec le papier tournesol; et l'on

toucha alors ce dernier avec un conducteur humide qu'on tenait dans la main. Quelques tours de la machine opérèrent la décomposition, et l'acide fut transporté à la pointe positive. Cette expérience revient à la précédente. Le bout de fil humecté, au lieu d'être tenu dans la main, fut suspendu dans l'air, au moyen d'un tube de verre; quoiqu'il n'y eût qu'un seul pôle métallique, l'acide fut encore transporté à la pointe positive. Ces expériences, répétées avec le conducteur négatif et le papier de curcuma, produisirent des effets inverses.

M. Faraday a conclu de ces expériences que la décomposition électro-chimique ne dépend pas de l'action simultanée des deux pôles métalliques, puisqu'en ne se servant que d'un seul pôle, la décomposition s'effectue, et que l'un des éléments, mis en liberté, passe au pôle directement en action, que ce pôle soit le pôle positif ou le pôle négatif; tandis que l'autre élément se réfugie vers l'autre extrémité du corps soumis à la décomposition, quand bien même ce corps serait terminé par l'air. L'air agit donc comme un pôle. Ce dernier fait a été vérifié de la manière suivante : un morceau de papier de curcuma, humecté dans une solution de sulfate de soude, fut placé sur le bord d'une plaque de verre (fig. 89), ainsi qu'un morceau de feuille d'étain, à une distance de deux pouces; ce dernier fut mis en communication, d'une part avec la machine, et de l'autre avec le papier de curcuma, au moyen d'un fil décomposant *a*. En tournant la machine, l'électricité positive débouche dans le papier, au point *p*, et sortit dans l'air à son extrémité opposée en *n*. Après quarante ou cinquante tours, la réaction alcaline se manifesta en *n*. On obtint des résultats analogues avec le papier de tournesol, disposé comme on le voit fig. 90. Ce papier ayant été humecté d'une solution de sulfate de soude, fut placé à l'extrémité de l'appareil *a*, vis-à-vis d'une pointe *p* en communication avec la machine électrique. En tournant celle-ci pendant quelques instants, l'extrémité du papier en regard de la pointe *p* fut rougie. Un

long morceau de papier de curcuma, coupé en pointes à l'une de ses extrémités, et humecté d'une solution saline, fut mis en communication avec le conducteur de la machine, de manière que son extrémité en pointe se trouva opposée au fil décomposant de l'appareil. L'alcali se dirigea vers la pointe lorsque l'on permettait à l'électricité de s'évanouir; il en fût de même encore à l'endroit où l'électricité avait abandonné le papier.

464. Des expériences furent faites aussi sans employer de communication métallique; dans ce cas les deux pôles ou les deux parties extrêmes étaient formées par l'air seulement. Un morceau de papier de curcuma *a* et un morceau de papier de tournesol *b* (fig. 91) ayant été trempés dans une solution de sulfate de soude, furent placés, comme l'indique la figure, sur de la cire, entre deux aiguilles *p* et *n*, l'une en communication avec le fil de métal du conducteur de la machine, et l'autre avec le train de décharge. L'intervalle était d'environ un demi-pouce. La pointe *p'* était opposée au papier tournesol, et la pointe *n* au papier de curcuma. En tournant la machine pendant quelques instants, la décomposition commença à se montrer. La pointe *b* donna la réaction acide, et la pointe *n* la réaction alcaline. Si l'on considère les deux bandes de papier comme constituant un conducteur indépendant de la machine ou de la charge, on trouve que l'acide se manifeste à l'extrémité négative et l'alcali à l'extrémité positive. Cette expérience peut être faite encore en employant une série de petits conducteurs, formés de bandes de papier de tournesol et de curcuma, humectées d'une solution de sulfate de soude et disposées comme l'indique la fig. 92. Toutes les pointes du papier tournesol sont rougies, ainsi que toutes les pointes du papier curcuma. Ces décompositions électro-chimiques sont analogues à celles que l'on obtient dans les circonstances ordinaires avec la pile voltaïque, avec cette différence néanmoins qu'ici les pôles ne sont plus des corps métalliques, mais bien des corps mauvais conducteurs,

qui ne peuvent être franchis que par l'électricité ordinaire. Ce résultat est une généralisation du principe des décompositions chimiques au moyen de la pile.

465. Les courants thermo-électriques produisent des décompositions comme les courants voltaïques. Il suffit, pour le prouver, de plonger dans une solution de nitrate de cuivre les deux bouts d'un fil de cuivre, formé de deux fils, disposés comme l'indique la fig. 93. Si l'on place la partie *ba* au-dessus de la flamme d'une lampe à alcool, on a un courant qui suit la direction *abc*, et dont l'énergie est suffisante pour opérer la décomposition du nitrate ; le bout *n* se recouvre de cuivre métallique et l'autre d'oxide. Nous reviendrons bientôt sur cette décomposition.

§ III. *De quelques conditions générales des décompositions électro-chimiques.*

466. Depuis la découverte des phénomènes électro-chimiques, on a remarqué que les éléments qui sont combinés avec le plus d'énergie sont aussi ceux qui sont décomposés avec le plus de force par le courant, et que les corps qui sont combinés en vertu de faibles affinités sont ceux qui obéissent le moins à l'action décomposante de l'électricité. Cette observation est de la plus haute importance pour la théorie électro-chimique ; prenons pour exemple les verres, comme l'a fait M. Faraday : plusieurs d'entre eux sont formés de silice, de chaux, d'alcali ou d'oxide de plomb, et peuvent être considérés, jusqu'à un certain point, comme des dissolutions de ces substances l'une dans l'autre. Si l'on fond une bouteille de verre et qu'on la soumette à l'action de la pile, le verre n'est pas du tout décomposé ; mais si l'on opère sur du flint-glass, qui renferme des éléments plus directement opposés, il y a décomposition comme lorsqu'on opère sur un borate, qui est un composé chimique, et transport des éléments aux électrodes.

On peut donc dire que tous les corps composés se

séparent, sous l'influence d'un courant électrique, avec une facilité proportionnée à la force de l'affinité qui unit leurs éléments.

Parmi les corps qui résistent à l'action décomposante de l'électricité on doit distinguer d'abord l'acide borique, ensuite les iodures de soufre, les chlorures de soufre, de phosphore et de carbone; les chlorures d'antimoine, les hydro-carbures, l'acide acétique cristallisé, l'ammoniaque, les acides sulfurique, arsénique et nitrique privés d'eau. Il est probable que le défaut de décomposition dans ces corps tient à l'absence du pouvoir conducteur. La dépendance entre la faculté décomposante et la faculté conductrice est telle, que les corps non conducteurs à l'état solide, qui le deviennent à l'état liquide, sont alors décomposés. La seule exception que l'on connaisse est le périodure de mercure et l'eau très-pure.

467. M. Faraday ayant remarqué que le proto-chlorure d'étain conduisait rapidement et était décomposé, tandis que le perchlorure ne conduisait pas et n'était pas décomposé; que le proto-iodure d'étain était décomposé, lorsqu'il est fluide, et que le periodure ne l'était pas, il a cherché si les décompositions électro-chimiques n'étaient pas soumises à quelque loi, sous le rapport de la composition atomique. Les nombreuses expériences qu'il a faites à ce sujet l'ont conduit seulement à conjecturer que tous les corps qui peuvent être décomposés à l'état liquide, sont formés de simples proportionnelles de leurs principes élémentaires. En ce qui concerne les sels et les combinaisons des corps composés, il ne paraît pas avoir trouvé une loi aussi simple. Nous allons rapporter quelques-uns des faits qui l'ont mis à même de tirer de semblables conséquences.

Les oxides, les chlorures et les iodures, qui sont soumis à la loi de conduction et de décomposition, comme nous l'avons vu, sont décomposables, à l'exception du chlorure d'antimoine, du périodure de mercure et peut-être du deuto-chlorure; tandis que plusieurs des com-

posés d'éléments semblables, non soumis à cette loi, sont indécomposables.

Les substances qui paraissent déroger le plus à cette loi sont les acides sulfurique, phosphorique, arsénique, nitrique. Quand l'acide sulfurique, par exemple, est soumis à l'action d'une puissante batterie et que l'on obtient de l'oxigène au pôle positif et de l'hydrogène pur et du soufre au pôle négatif, on ne peut douter que l'eau n'ait été décomposée et non l'acide, ou du moins très-peu, en raison de la décomposition de l'eau; car lorsqu'on opère avec l'acide sulfurique anhydre et fondu, cet acide n'est ni conducteur, ni décomposé. L'acide sulfurique n'est donc pas décomposable ou électrolysable par lui-même. Les acides phosphorique, arsénique et nitrique paraissent être dans le même cas.

Le chlorure de soufre et plusieurs autres composés, et qui consistent en de simples proportionnelles de leurs éléments, ne sont à la vérité ni conducteurs, ni décomposés; mais ces corps ne doivent pas être regardés comme des exceptions, attendu que la règle établie par M. Faraday ne dit pas que tous les composés d'une seule proportionnelle d'éléments soient décomposables, mais bien que ceux qui sont ainsi constitués sont décomposables.

Quant aux autres exceptions, on peut les faire disparaître en les examinant de près; par exemple, le périodure de mercure est isolant à l'état solide et conducteur à l'état fluide; mais comme il n'est pas décomposé, ce composé n'est donc pas une exception.

Il est peut-être aussi le seul qui soit une exception à ce principe que tous les corps soumis à la loi de conduction des liquides sont décomposables; encore pourrait-il se faire qu'une partie du proto-iodure de mercure restât dissoute dans le périodure et que ce fût à sa décomposition lente que fût dû le faible pouvoir conducteur.

En résumé, il paraît probable que tous les composés binaires qui subissent la décomposition électro-chimique à l'état fluide seulement, consistent en de simples pro-

portionnelles de leurs principes élémentaires; en ce qui concerne les sels et les combinaisons des corps composés, la même simplicité de rapport ne paraît pas exister comme nous l'avons annoncé; car du biborate de soude ayant été fondu et soumis à l'expérience, il a conduit l'électricité et a été décomposé. Le même effet a encore eu lieu, même lorsque le sel renfermait trois proportionnelles d'acide borique.

§ IV. *Des appareils propres à mesurer l'électricité voltaïque.*

468. On mesure l'électricité qui passe dans une dissolution, au moyen de l'action chimique produite. L'appareil dont M. Faraday (1) a fait usage, et auquel il a donné le nom d'électromètre de Volta, est placé sur la route du courant, et peut servir dans chaque expérience, à volonté, d'étalon comparatif ou de mesureur absolu de l'électricité. Sa construction repose sur ce principe, que l'action chimique décomposante d'un courant est constante pour une quantité constante d'électricité, malgré les variations qui peuvent avoir lieu dans son intensité, dans la dimension des fils ou plaques employés, et la nature des corps conducteurs ou non conducteurs au travers desquels elle passe.

L'eau acidulée par l'acide sulfurique étant facilement décomposable, est le liquide le plus convenable pour servir d'indicateur. On doit éviter avec soin la recombinaison des gaz dégagés, laquelle s'effectue, comme nous l'avons dit précédemment, sous l'influence de la lame positive. La forme des appareils décomposants varie selon le genre d'expériences que l'on a en vue. Le premier consiste en tubes droits, gradués, contenant chacun une plaque et un fil de platine soudés avec de l'or, et fixés par la fusion à l'extrémité fermée du tube (fig. 94 et 95). Ces tubes ont une longueur d'environ

(1) Transact. philos., 1834, p. 85.

8 pouces et un diamètre de 0, 7 de pouce. Les plaques de platine sont aussi larges que possible et placées très-près de l'orifice du tube. Quand il faut dégager les éléments sur une surface très-petite, l'extrémité métallique, au lieu d'être une plaque, est un fil roulé en forme d'anneau (fig. 95). Les tubes sont remplis d'une solution d'acide sulfurique et renversés dans un vase, contenant le même liquide; la fig. 96 indique encore une autre forme d'appareil. Celui de la fig. 97 contient deux plaques ou fils décomposants dans le même tube, afin que la transmission de l'électricité et la décomposition s'effectuent plus rapidement que dans les tubes séparés. Cet appareil est plus convenable que les autres, pour mesurer la quantité d'électricité voltaïque, transmise dans les cas ordinaires. Le flacon auquel est ajusté le tube est rempli à moitié ou aux deux tiers d'une solution d'acide sulfurique. Les gaz, en se portant dans la partie supérieure du tube, ne sont pas soumis au pouvoir de recombinaison du platine, et peuvent être mesurés facilement sans avoir éprouvé de perte. La fig. 98 représente encore un autre appareil dont M. Faraday se sert toutes les fois que les expériences exigent plusieurs jours de durée, et lorsqu'il s'agit de rassembler de grandes quantités de gaz.

469. Voyons d'abord quelle est l'influence de la dimension des plaques ou parties immergées des fils sur la décomposition de l'eau. M. Faraday a employé successivement les instruments décrits précédemment. Un d'eux avait des plaques de 0, 7 pouce de largeur et de 4 pouces environ de longueur; un autre, des plaques de 0, 5 de pouce de largeur et de 0, 8 de longueur; un autre enfin, de 0, 02 de pouce en diamètre et de 3 pouces en longueur; il prit ensuite 4 fils semblables, longs seulement d'un demi-pouce. Tous ces appareils ayant été remplis de la même solution d'acide sulfurique, furent placés à la suite les uns des autres, afin que tout le système fût traversé en même temps par le courant électrique. La première chose qui le frappa, fut de voir que

la quantité de gaz dégagée était à peu près la même dans chaque appareil; en examinant ensuite avec plus d'attention, il reconnut que la plus grande quantité de gaz était dégagée sur la plus petite surface des fils; en effet, un instrument avec deux fils a donné 74, 3 volumes de gaz mêlés; un autre avec des plaques 73, 25 volumes, tandis que la somme de l'hydrogène et de l'oxigène dégagée dans deux tubes séparés montait à 73, 65. Ces différences sont, à la vérité, très-légères; mais nous devons cependant les mentionner ici.

Nous pensons que l'on pouvait prévoir *a priori* que les divers appareils, faisant partie d'un même circuit et étant soumis à l'action du même courant, devaient donner à peu près le même résultat électro-chimique. En effet, quand l'électricité traverse un système de corps conducteurs, solides ou liquides, et qui n'ont pas tous, par conséquent, le même pouvoir conducteur, chaque partie du circuit ne peut recevoir que la quantité d'électricité qui passe dans celle dont le pouvoir est le moins grand, de sorte que, si ce pouvoir est nul, le courant est arrêté. Cela posé, il ne passe donc, dans le même temps, dans une plaque et dans un fil, que la même quantité d'électricité. Il n'est pas étonnant, d'après cela, que la quantité de gaz dégagée sur les plaques ou les fils, soit sensiblement la même quand ils font partie du même circuit, si, comme nous l'avons admis, elle est proportionnelle à la quantité d'électricité qui passe. Mais il ne doit plus en être de même, comme l'expérience du reste le prouve, quand les unes et les autres agissent séparément. Nous ferons observer aussi que l'électricité se trouvant plus concentrée dans le fil que dans la plaque, puisqu'elle occupe un moins grand volume, il ne serait pas étonnant qu'elle agît avec un petit peu plus de force.

Lorsqu'on opère avec des tubes qui ne renferment qu'une seule plaque, on remarque qu'il y a une plus grande quantité d'hydrogène dégagée du côté négatif qu'il n'y a proportionnellement d'oxigène du côté positif, et qu'en général il y en a aussi plus, proportionnel-

lement, que dans un tube à doubles plaques. M. Faraday a attribué ces différences à la solubilité des gaz dégagés particulièrement du côté positif.

Remarquons que les bulles de gaz qui se dégagent autour des lames positives et négatives qui ont des surfaces égales, ont toujours un caractère différent; celles de la plaque positive sont extrêmement petites et séparées, à l'instant où elles se montrent sur chaque partie de la surface du métal. Leur nombre et leur petitesse est telle, que dans le liquide elles ont une apparence grisâtre, et restent plus long-temps mélangées avec lui. Les bulles qui se montrent à la surface négative, quoique renfermant deux fois le volume du gaz qui se dégage sur la lame positive, sont moins nombreuses; elles ne s'élèvent pas de toute la surface, mais bien de certains points. Quoique plus larges, elles paraissent s'attacher au métal, et s'en séparent difficilement; après quoi elles s'élèvent immédiatement au haut du liquide. Si donc l'oxigène et l'hydrogène possèdent la même solubilité dans l'eau, l'oxigène se trouverait dans des conditions plus favorables pour se dissoudre; si l'on ajoute encore à cette considération, que l'oxigène jouit de la propriété de former une combinaison avec l'eau, on ne doit pas être surpris que ce composé se produise en moindre quantité sur la lame positive. Voilà comment on peut concevoir une plus grande quantité de gaz apparente, dégagée du côté négatif.

Revenons à la plus grande quantité de gaz dégagée sur les fils et sur les plaques. On peut encore attribuer cet effet à ce que d'égales quantités ayant été produites dans des temps égaux, les bulles de gaz dégagées sur les fils ont été formées plus promptement, relativement à chaque partie de la surface, et doivent avoir été en même temps plus larges. Elles ont donc été en contact avec le fluide, par l'intermédiaire d'une surface plus petite, et pendant un temps plus court qu'avec les plaques. Il en est résulté alors moins de dissolution et un plus grand amas de gaz.

470. M. Faraday s'est assuré que réellement une partie

des gaz dégagés se dissout dans le liquide; car en les examinant, il y a trouvé de petites quantités d'azote, qui ne pouvaient provenir que de l'air dissous dans l'acide, lequel avait dû être déplacé par les gaz dissous.

Pour éviter la solution des gaz, et afin d'avoir des effets constants, il faut opérer avec des plaques décomposantes dans une position verticale; cet effet est surtout sensible lorsqu'on opère avec une solution de potasse au lieu d'une solution d'acide sulfurique.

Ces préliminaires posés, M. Faraday a préféré prendre l'hydrogène comme indicateur, parce qu'il est moins soluble que l'oxigène, qu'il donne deux fois plus de gaz, et qu'on peut l'obtenir dans un plus grand état de pureté; et il a posé en principe que la différence dans la dimension des lames ne produit pas de variation dans l'action chimique sur l'eau.

471. Cet habile physicien fait remarquer que l'intensité d'un courant qui traverse des conducteurs semblables dans leur nature et leur longueur, étant proportionnelle à la quantité qui passe dans chaque section perpendiculaire à l'axe, divisée par le temps, il doit en résulter que lorsqu'on opère avec de larges plaques et des fils, séparés par une égale longueur du même conducteur décomposant, l'électricité, dans les deux appareils, doit se trouver dans un état très-différent, sous le rapport de la tension, et cependant les résultats chimiques être en général les mêmes. Pour montrer que la différence dans l'intensité du courant n'apporte effectivement aucun changement dans les résultats, on peut se servir de l'appareil fig. 99, au moyen duquel le même liquide est soumis au pouvoir décomposant du même courant électrique qui passe dans le vase A entre de larges plaques de platine, et dans le vase B entre de petits fils. Si l'on introduit dans le circuit l'appareil fig. 96, on peut connaître l'état relatif des deux plaques, par rapport à l'intensité, et en l'appliquant en a' et b' on voit comment influe l'intensité du courant.

Si l'on dispose trois électromètres de Volta, de manière que le courant, après avoir traversé l'un d'eux, se

divise en deux parties, qui se réunissent quand ils ont traversé chacun d'eux, on trouve alors que la somme des décompositions, dans les deux derniers vases, est toujours égale à la décomposition dans le premier; mais comme l'intensité, dans le courant divisé, n'est pas la même que celle du courant primitif, il faut en conclure que la variation dans l'intensité n'a pas d'influence sur les résultats si la quantité d'électricité reste la même.

472. Voyons ce qui arrive quand on ajoute à l'eau diverses quantités d'acide sulfurique, qui donnent à la solution une pesanteur de 1,475 et au-dessous; si l'on soumet simultanément tous les appareils ci-dessus à l'action du même courant, on trouve, à quelques différences près, que dans toutes les dissolutions la même quantité d'électricité décompose exactement la même quantité d'eau, quoique la quantité d'acide sulfurique se trouve dans les unes 70 fois plus grande que dans les autres. M. Faraday a reconnu, en employant un acide dont la pesanteur spécifique est d'environ 1,336, des résultats plus uniformes; l'oxigène et l'hydrogène étaient plus constamment en proportion égale l'un avec l'autre. Cet acide donne plus de gaz qu'un acide beaucoup plus faible, parce qu'il a un pouvoir dissolvant moindre. En soumettant à l'expérience des solutions d'acides, de sels et de composés différents, on trouve des résultats d'une très-grande uniformité. Avec des solutions de potasse ou de soude caustique, de sulfate de magnésie ou de sulfate de soude, il y a autant d'oxigène et d'hydrogène développés qu'avec la solution d'acide sulfurique qui sert d'étalon. Il en résulte que les changements dans la nature de la solution n'altèrent pas la constance de l'action électro-chimique du courant sur l'eau.

Nous venons de voir qu'un courant qui traverse l'eau, en décompose une portion qui est exactement proportionnée à la quantité d'électricité qu'on a fait passer, malgré les nombreuses différences de circonstances dans

lesquelles elle peut être placée. Si donc l'on se garantit de certains effets secondaires, tels que les dissolutions ou recombinaisons de gaz, les produits de la décomposition étant rassemblés avec soin, peuvent servir de mesure pour l'électricité employée. La solution d'acide sulfurique doit être exempte de toute substance organique, d'acides végétaux ou d'autres corps qui cèdent facilement à l'action décomposante des lames, de l'oxigène ou de l'hydrogène.

Dans quelques cas où l'on agit sur des solutions de sels métalliques capables de se réduire sur la lame négative, l'oxigène peut être avantageusement employé comme substance propre à mesurer l'intensité de l'action chimique. Tel est le cas, par exemple, du sulfate de cuivre. Quand on se sert des appareils décrits précédemment, pour obtenir une mesure absolue, et non une mesure relative, il faut prendre en considération la pression barométrique et la température, et veiller à ce que les instruments soient gradués sur une seule échelle. L'appareil fig. 98 est ce qu'il y a de mieux, puisque le gaz peut être mesuré sur l'eau, tandis que dans les autres appareils il se trouve sur des solutions acides ou salines. Cet instrument, qui indique la quantité d'électricité qui a passé, peut servir à mesurer l'électricité voltaïque: c'est pour ce motif que M. Faraday l'a appelé électromètre de Volta.

CHAPITRE VII.

DES CAUSES QUI FONT VARIER L'ACTION CHIMIQUE DE LA PILE.

§ 1er. *Des effets chimiques de la pile, quand on change la nature du liquide qui est placé dans les auges.*

473. L'énergie chimique de la pile ne suit pas le même rapport que sa tension électrique. Moins le liquide qui est placé entre les plaques agit chimiquement, plus la tension est grande, et moins en même temps l'action chimique est considérable. MM. Gay-Lussac et Thénard, avec la grande batterie voltaïque que Napoléon avait donnée à l'École polytechnique, ont essayé d'établir des rapports entre l'énergie chimique de la pile et la tension de ses pôles.

Ils ont d'abord reconnu, comme on l'avait déja observé avant eux, que l'intensité des effets chimiques varie suivant que les fils de platine qui communiquent avec les pôles plongent dans l'eau, dans une dissolution saline, acide ou alcaline. Ainsi, la quantité de gaz dégagée est plus forte avec de l'eau qui contient un sel, que lorsqu'elle est pure, et elle augmente avec la quantité d'acide qu'on y ajoute. Tous ces effets s'expliquent très-bien, au moyen des documents que nous possédons.

Le liquide sur lequel ces deux chimistes ont opéré était contenu dans un entonnoir de verre, dont le bec était traversé par deux fils de platine scellés à une

certaine distance l'un de l'autre, et mis en communication chacun avec l'une des extrémités de la pile.

Ayant observé que la quantité de gaz obtenue était d'autant plus grande, toutes choses égales d'ailleurs, que les solutions acides ou salines conduisaient mieux l'électricité, ils ont pris cette quantité pour la mesure des effets chimiques, comme l'a fait depuis M. Faraday.

Ils ont d'abord trouvé que le chlorure de sodium ajouté aux acides augmentait considérablement les effets chimiques de la pile. Voici la moyenne des résultats qu'ils ont obtenus:

PILE montée avec l'acide seul.	PILE montée avec le sel seul.	PILE montée avec le mélange de sel et d'acide.
88,7 de gaz..	..... 11,7	 187,0

Les effets chimiques de la pile sont donc sensiblement proportionnels à la force de l'acide avec lequel on la met en activité, puisque avec des mélanges d'eau et d'acide nitrique, dans diverses proportions, la quantité de gaz dégagée est double pour une quantité double d'acide. Ce rapport n'a plus lieu au-delà d'une certaine proportion.

§ II. *De la quantité de gaz dégagée, suivant que la partie des fils immergés est plus ou moins longue.*

474. Les résultats contenus dans le tableau suivant montrent que l'on n'augmente pas les effets de la pile en augmentant la longueur des fils au-delà d'une certaine limite.

COMPOSITION de l'acide qui était dans la pile.	LONGUEUR de la partie immergée des fils de platine.	QUANTITÉ de gaz, résultat moyen de cinq expériences.
40 p. d'eau..... 1 p. d'acide nitrique....	..... 8 centimètres.....	..... 149 p.
idem.....	..... 4	..... 156 p.
idem.....	..... 2	..... 165 p.
L'acide de l'entonnoir ayant été rendu plus fort.....	..... 2	..... 169 p.

§ III. *Des rapports de conductibilité des acides et des alcalis sous le rapport des effets chimiques de la pile.*

475. MM. Gay-Lussac et Thénard ont fait plusieurs expériences pour déterminer le rapport de conductibilité des acides et des alcalis, sous le rapport des effets chimiques. Les résultats consignés dans le tableau suivant renferment les données nécessaires pour tirer des conséquences générales.

Le liquide de la pile était composé de seize parties d'eau et d'une partie d'acide nitrique, et celui de l'entonnoir de

Acide nitrique faible, étendu d'un volume d'eau égal au sien.	Trois expériences ont donné 827 parties de gaz.
Dissolution de soude pure, telle qu'à volume égal elle saturait l'acide précédent; on l'a également étendue d'un volume d'eau égal au sien.	Trois expériences consécutives ont produit 518 parties de gaz.
On a mêlé, à volume égal, de l'acide et de l'alcali, tels qu'ils étaient avant qu'on ait ajouté de l'eau.	On a trouvé pour résultat total des trois expériences, 223 parties de gaz.

On voit par là que l'acide est meilleur conducteur

que l'alcali, lorsqu'ils se trouvent dans l'eau l'un et l'autre en telle quantité que, sous des volumes égaux, ils se neutralisent complétement, et que l'alcali conduit mieux que le sel qui en résulte.

Dans la nouvelle théorie électro-chimique, où l'action du contact des métaux est négligée, on rend facilement compte de ces différents effets. Nul doute que la quantité de gaz produite dans les circonstances actuelles ne dépende du degré de conductibilité du liquide que l'on soumet à l'action décomposante de la pile; mais elle doit dépendre encore d'une autre cause, dont il n'a pas été fait mention, de la facilité avec laquelle sont séparées les parties constituantes des corps qui ont été ajoutés à l'eau. Pour l'instant, nous ne pouvons pas traiter cette question, nous nous bornons à en faire mention.

§ IV. *Des rapports qui existent entre les effets chimiques et les quantités de sels mises dans l'entonnoir.*

476. MM. Gay-Lussac et Thénard ont dû chercher naturellement quels étaient les effets chimiques de la pile quand on variait les quantités de sel mises dans l'entonnoir. Ils ont pris d'abord une solution de soude pour la première expérience; pour la seconde, ils l'étendirent d'un volume d'eau égal au sien, et ainsi de suite. Ils ont trouvé les résultats suivants, la pile ayant été chargée avec de l'eau renfermant un seizième d'acide nitrique du commerce:

NUMÉROS des expériences.	RÉSULTAT moyen de trois expériences.	QUANTITÉ de sulfate de soude desséché, contenu dans la dissolution.
1	328	0,10498
2	264	0,05248
3	208	0,02624
4	175	0,01312
5	146	0,00656
6	128	0,00328
7	87	0,00164
8	72	0,00082
9	49	0,00041

On voit qu'avec le sulfate de soude les effets chimiques de la pile sont d'autant plus grands que la dissolution saline est plus forte, et que les quantités de gaz obtenues croissent comme les racines cubiques des quantités de sel contenues dans les solutions. MM. Gay-Lussac et Thénard n'ont trouvé cette loi que pour le sulfate de soude seulement, car les autres n'en suivent aucune.

§ V. *Des rapports qui existent entre les effets chimiques, le nombre et la surface des plaques de la pile.*

477. Les effets chimiques de la pile doivent varier en raison du nombre et de la surface des plaques qui la composent. Ces deux chimistes ont fait plusieurs expériences pour déterminer dans quelques cas les effets produits. Ils ont d'abord eu égard au nombre des plaques et ont employé pour le liquide de la pile un acide assez faible, et pour celui de l'entonnoir un acide suffisamment fort pour qu'il fût bon conducteur avec des piles très-différentes.

NOMBRE des plaques.	RÉSULTAT moyen de deux expériences.	RÉSULTAT calculé, en supposant les quantités de gaz proportionnelles à la racine cubiq. du nombre des plaq.
15	..... 213	 214
30	..... 264	 269
60	..... 271	 340
120	..... 412	 428

Ces expériences et d'autres du même genre qu'ils ont faites, prouvent que les effets chimiques de la pile n'augmentent pas à beaucoup près dans le même rapport que le nombre des éléments, car ces effets s'éloignent peu d'être proportionnels à la racine cubique du nombre des plaques.

Ces deux chimistes ont tiré de ces résultats la conséquence suivante. « Supposons qu'une pile de 20 paires « ait la faculté de décomposer un corps tel que l'eau; « il est évident qu'il vaudra mieux faire agir des « piles séparées chacune de 20 paires, que de les « réunir bout à bout. Dans le premier cas, l'effet to- « tal sera proportionnel au nombre des piles; et dans « le second, il serait seulement proportionnel à la ra- « cine cubique de ce nombre. Il y a donc beaucoup de « cas dans lesquels il est préférable de n'employer que « de petites piles : il en est pourtant plusieurs dans « lesquels on doit employer des piles très-grandes ou « formées d'un grand nombre de paires; on doit le faire « surtout lorsqu'il s'agit de séparer des éléments qui « ne peuvent céder qu'à une force répulsive considé- « rable. »

Pour déterminer le rapport qui existe entre les effets de la pile et la surface des paires qui la composent, ils ont pris deux piles de 20 paires, dont la surface de l'une était à celle de l'autre dans le rapport de 1 à

19,7. Le liquide dont les piles étaient chargées était composé de 40 parties d'eau et d'une d'acide nitrique. Le liquide de l'entonnoir n'était étendu que de 3 parties d'eau. La distance entre les plaques n'étant pas la même, ils ont pris la capacité des auges : celle des petites était dans le rapport de 1 à 22,2 à celle des grandes. D'après cela, ils ont dû multiplier par $\frac{19,7}{22,2}$ l'effet de la grande, afin de la comparer à celui de la petite, puisqu'ils avaient trouvé que les effets d'une pile étaient proportionnels à la quantité d'acide employée pour la mettre en activité.

NOMBRE D'EXPÉRIENCES.	VOLUME gazeux.	VOLUME gazeux réduit.
	centilitres.	
Trois expériences consécutives, de 15 minutes chacune, ont donné avec la grande.....	..... 43,67	 38,75
Trois expériences, pendant 15 minutes chacune, ont donné avec la petite...	..... 1,88	.....

Le rapport des quantités de gaz dégagées étant 20,61 et celui des surfaces 19,7, MM. Gay-Lussac et Thénard en ont conclu que les effets chimiques de deux piles, d'un même nombre de paires, étaient à peu près proportionnels aux surfaces.

§ VI. *Comparaison entre les effets chimiques et la tension électrique d'une pile montée avec divers liquides.*

478. MM. Gay-Lussac et Thénard ont monté une pile de 20 paires avec de l'acide nitrique; après un contact très-court d'un des pôles avec le plateau supérieur d'un condensateur très-sensible, celui-ci s'est chargé au point de donner une étincelle très-visible. Ayant été chargé

de nouveau, il donna à la balance de Coulomb une divergence de 91°; dans une seconde expérience faite cinq minutes après, elle fut de 92°; dans une troisième, de 90°; et dans une quatrième, de 91°.

Voilà donc une pile montée pendant plus d'une demi-heure, qui conservait la même tension. Elle n'a commencé à diminuer qu'au bout de trois quarts d'heure, et trois heures après elle était encore de 79°; elle n'était fortement diminuée que le lendemain. Si l'on compare maintenant la tension avec les effets chimiques, on trouve que la tension s'est soutenue pendant trois quarts d'heure sans éprouver de changement sensible; tandis que l'action chimique était presque entièrement annulée une demi-heure après.

Quand l'action chimique de la pile est épuisée, la durée du contact du condensateur influe beaucoup sur la quantité d'électricité dégagée, comme on peut le voir dans le tableau suivant :

PILE montée avec l'acide nitrique très-faible.	PILE montée avec le sulfate de soude.	PILE mêlée avec un mélange de sulfate de soude et d'acide nitrique.
82° contact instantané....	..... 69° cont. inst.....	..... 82° cont. inst.
88° en 2'.....	..... 84° en 2'.....	..... 101° en 2'
79° cont. inst.....	..... 68° cont. inst.....	..... 77° cont. inst.
97° en 3'.....	..... 85° en 2'.....	..... 97° en 2'
71° cont. inst.....	..... 67° cont. inst.....	..... 101° en 5'
80° en 2'.....	..... 77° en 2'.....	..... 74° cont. inst.
32° cont. inst.....	..... 60° cont. inst.....	..... 97° en 5'
34° en 2'.....	..... 68° en 2'.....	..... 67° cont. inst.
16° cont. inst.....		..... 90° en 5'
20° en 2'.....	La pile montée avec le sulfate de soude s'est soutenue plus long-temps qu'avec l'acide nitrique.	..... 68° cont. inst.

MM. Gay-Lussac et Thénard ont observé avec beaucoup de raison : 1° que la tension croissant avec la durée du contact, cet effet ne peut dépendre que de la conductibilité plus ou moins grande des liquides employés :

aussi, quand on emploie de l'acide nitrique, qui est meilleur conducteur qu'un sel, le condensateur se charge-t-il plus promptement que lorsque l'acide est saturé, et la décomposition chimique est-elle plus rapide; 2° que tous les phénomènes de la pile ne peuvent pas être expliqués seulement par la conductibilité des liquides, car si l'on opère avec une solution de sulfate de soude assez concentrée pour qu'elle conduise mieux l'électricité que l'acide nitrique étendu, la pile chargée avec l'acide sera plus énergique que chargée avec le sel. Ils attribuent cette différence dans l'énergie à ce que le sulfate de soude ainsi que l'acide nitrique ne se décomposent pas lorsqu'ils sont hors de la pile, et qu'ils communiquent seulement avec elle, au moyen de deux fils de platine adaptés à ses pôles; tandis qu'ils se décomposent tous deux, plus ou moins promptement, lorsqu'ils sont dans les auges mêmes de la pile.

Ils pensent en conséquence, que l'*énergie chimique d'une pile dépend de sa tension, de la conductibilité des liquides avec lesquels on la charge, et de la facilité avec laquelle on les décompose.*

CHAPITRE VIII.

ACTION DE LA PILE SUR DIVERSES SOLUTIONS.

§ Ier. *De l'action de la pile sur les solutions salines.*

479. Nous sommes à même maintenant d'étudier les décompositions électro-chimiques avec tous les développements qu'elles comportent. Commençons par l'action de la pile sur les solutions salines.

Nous savons que lorsqu'une solution saline est soumise à l'action d'un courant voltaïque, par l'intermédiaire de deux lames de platine, en communication chacune avec l'un des pôles d'une pile, l'eau et le sel sont décomposés; l'oxigène et l'acide sont transportés au pôle positif, l'hydrogène et la base au pôle négatif. Ce transport est soumis à des lois que nous devons faire connaître.

Prenons trois coupes de porcelaine communiquant ensemble au moyen de tubes de verre remplis d'argile humide; plaçons dans les deux coupes extrêmes de l'eau, et dans celle du milieu une solution de chlorure de sodium. Faisons communiquer les deux dernières chacune avec l'un des pôles d'une pile de trente éléments, peu de temps après, le chlore se montre au pôle positif et l'alcali au pôle négatif; ainsi la décomposition a eu lieu, bien que les lames décomposantes ne soient pas en contact immédiat avec la solution saline. L'effet

aurait été encore le même si la solution eût été placée dans les capsules extrêmes, et que la capsule du milieu n'eût renfermé que de l'eau.

480. Le transport des éléments s'effectue avec une telle énergie, que souvent ces éléments traversent des milieux pour lesquels ils ont une grande affinité, sans s'y arrêter; par exemple, si dans la capsule positive on place de l'eau pure, dans celle du milieu une solution d'ammoniaque, et dans la capsule négative une solution de sulfate de potasse, la potasse reste dans la première, et l'acide est transporté dans la troisième, bien qu'il ait traversé une solution d'ammoniaque, avec laquelle il a cependant une grande affinité. Mais il n'en est plus de même, quand l'acide ou l'alcali rencontrent sur leur passage un corps avec lequel ils peuvent former un composé insoluble, et que la pile n'a pas une énergie très-considérable. Dans ce cas, la combinaison s'effectue, et le corps qui était primitivement transporté cesse de faire partie de la chaîne électrique. C'est précisément ce qui arrive quand la capsule du milieu renferme un sel à base de baryte, et la capsule négative une solution d'un sulfate; l'acide sulfurique en traversant la solution du sel barytique décompose le sel et forme un sulfate de baryte, qui se précipite. Avec une pile très-énergique, capable de vaincre l'affinité de la baryte pour l'acide sulfurique, le précipité n'aurait pas eu lieu, l'action aurait été la même que celle qui est produite par des courants énergiques sur les principes constituants des vases de terre ou de verre qui renferment les liquides soumis à l'expérience; dans ce cas, ces principes sont retirés des vases par l'action du courant qui parvient à vaincre leur affinité. En général, les éléments qui sont transportés par les courants sont arrêtés quand ils rencontrent des corps avec lesquels ils peuvent former des composés insolubles; pour que le transport ait lieu avec des piles d'une tension ordinaire, il faut que les composés soient constamment solubles. Voyons quelques exemples: prenons deux tubes de verre remplis chacun à l'une de leurs extrémités d'argile très-pure légèrement

humectée, afin que les solutions placées dans les parties supérieures ne puissent s'échapper, et plongeons-les à moitié dans un vase rempli d'eau. Le premier, que nous appellerons tube positif, parce qu'il communique, au moyen d'une lame de platine, avec le pôle positif d'une pile, contient une dissolution de nitrate de cuivre, et le second, que nous désignerons sous le nom de tube négatif, de l'eau rendue conductrice par l'addition d'une très-petite quantité de sel. Aussitôt que la pile commence à fonctionner, l'eau est décomposée, l'oxigène et l'hydrogène sont transportés à leurs pôles respectifs, tandis que le nitrate de cuivre n'éprouve aucune décomposition; tandis que la décomposition aurait eu lieu avec un nitrate alcalin. Comment, en effet, l'oxide de cuivre serait-il transporté du pôle positif au pôle négatif, en traversant une certaine étendue d'eau, quand ce liquide ne lui présente pas les éléments nécessaires pour former un composé soluble, condition sans laquelle le transport ne saurait avoir lieu, surtout quand on emploie une pile dont l'action est peu énergique? Celle dont on a fait usage, était formée de trente éléments d'un décimètre carré et chargée avec une solution légère de sel marin renfermant un centième d'acide sulfurique. En opérant d'une manière inverse, c'est-à-dire en mettant la lame positive dans l'eau et la lame négative dans le nitrate de cuivre, la décomposition de ce dernier s'opère sans difficulté, puisque l'acide nitrique peut se rendre au pôle positif en prenant pour véhicule l'eau ou tout corps qui s'y trouve dissous.

Substituons au nitrate qui se trouve dans le tube positif, un sel à base alcaline ou terreuse; la décomposition s'effectue sans difficulté, puisque l'alcali forme un composé soluble avec l'eau.

481. Les expériences suivantes feront connaître encore quelques-unes des causes qui s'opposent aux décompositions immédiates des sels, quand la communication entre les deux extrémités de la pile n'est pas établie convenablement : si l'on verse dans le tube négatif une

solution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une solution de nitrate de potasse, l'eau est décomposée et l'acide nitrique du nitrate est mis à nu; la potasse, en se rendant dans le tube négatif, réagit sur le sulfate de cuivre, en chasse une partie de l'oxide de cuivre, qui est réduit immédiatement, par l'action combinée de la pile et de l'hydrogène, et donne naissance à un double sulfate de cuivre et de potasse qui, en raison de son peu de solubilité, cristallise bientôt sur les parois du tube. Tant qu'il reste du sulfate de cuivre simple à décomposer, et qu'il y a une quantité suffisante de nitrate de potasse dans le tube positif, l'acide sulfurique n'est pas transporté dans celui-ci; mais aussitôt que le double sulfate commence à être décomposé, sa présence dans ce tube y est rendue sensible, au moyen du nitrate de baryte. Cet effet est facile à expliquer : quand deux solutions salines sont mélangées ensemble, la pile exerce, de préférence, son action sur la solution dont le sel est le plus soluble; il existe donc des rapports tels entre la solubilité et la faculté de transport, que les courants électriques prennent de préférence les éléments des corps qui ont le plus d'affinité pour l'eau; c'est un principe que l'on peut vérifier dans une infinité de cas. D'un autre côté, l'acide sulfurique du sulfate y est retenu par l'affinité de la potasse qui arrive du tube positif; mais aussitôt que le nitrate de potasse est décomposé, et qu'il n'existe plus de sulfate simple, alors la pile exerce son action sur le double sulfate, et l'opération est terminée quand toutes les bases sont d'un côté et les acides de l'autre.

Si dans le tube positif, ainsi que dans le bocal intermédiaire, on met une solution de nitrate de potasse, et, dans le tube négatif, une solution saturée à parties égales de nitrate et de sulfate de cuivre, ces deux sels seront décomposés, mais successivement et à des époques assez éloignées. Voici la marche de l'opération : du cuivre est réduit sur la lame négative, de la potasse passe dans le tube négatif, et s'y combine avec une portion de l'acide sulfurique; de l'acide nitrique devient

libre dans le tube positif, et aucun réactif ne peut y faire reconnaître la présence de l'acide sulfurique. Ce résultat nous indique de suite que le nitrate de potasse d'une part, et celui de cuivre de l'autre, ont été décomposés avec transport de leurs éléments à leurs pôles respectifs; tandis que le sulfate de cuivre, par les actions combinées de la pile et de la potasse, a été également décomposé, mais sans qu'il y ait transport de l'acide au pôle positif, parce qu'il y a eu formation d'un double sulfate. Cette expérience, qui rentre dans la précédente, montre que le résultat est le même, que le tube négatif renferme ou non un nitrate, ou un mélange de sulfate ou de nitrate de cuivre. L'opération continue comme précédemment.

482. L'acide sulfurique est bien retenu dans le tube négatif, par l'action qu'il exerce sur la potasse transportée et par l'affinité du sulfate formé pour le sulfate de cuivre; mais il peut se faire aussi que l'acide nitrique, qui se trouve placé d'une manière continue de l'un à l'autre tube, quoique combiné avec deux bases différentes, se trouve dans une circonstance plus favorable pour que la décomposition commence par les nitrates. S'il en était ainsi, il serait possible de résoudre cette question : un mélange de plusieurs solutions salines étant donné, en opérer successivement la décomposition avec la pile, de manière que tel ou tel acide soit d'abord transporté seul dans le tube positif. Si l'on avait, par exemple, une solution qui renfermât un sulfate, un chlorure et un nitrate métalliques, comment faudrait-il disposer l'appareil, pour que le sulfate ne fût pas d'abord décomposé? Il suffirait probablement de verser un mélange des trois sels dans le tube négatif, et de mettre une solution de nitrate et de chlorure alcalins dans le tube positif, ainsi que dans le tube intermédiaire. Ces deux sels seraient décomposés; et il se formerait dans le tube négatif un double sulfate, qui ne subirait pas d'abord l'action décomposante de la pile; le chlorure et le nitrate seraient donc d'abord les seuls sels décomposés.

En disposant les appareils de manière à former des doubles sels ou des composés insolubles, on peut arriver à résoudre la question que nous avons posée.

§ II. *De la décomposition des sels avec réduction immédiate de leurs bases.*

483. En soumettant à l'action d'une pile de trente éléments, et même d'un nombre bien moindre, des solutions de manganèse, de zinc, de fer, d'étain, d'arsenic, d'antimoine, de bismuth, de cuivre, de plomb, de mercure, d'argent, d'or, de platine, la lame négative se recouvre en peu d'instants de métal réduit, tandis que les solutions de titane, de nickel, de cobalt, d'urane, de chrome, etc., n'offrent aucune trace sensible de réduction. Quant aux solutions des sels de potasse, de soude, de baryte, etc., dont le radical des bases décompose l'eau, elles ne donnent non plus aucune trace de réduction. Si l'on veut obtenir ces radicaux, il faut opérer, non sur la solution, mais sur des morceaux d'alcali même, en employant des piles composées d'une centaine d'éléments.

Indiquons d'abord les effets de décomposition obtenus avec des piles très-énergiques; prenons celle qui a été construite à l'École polytechnique par ordre de Napoléon, et dont nous avons déja donné la description; parlons d'abord de quelques-unes de ses propriétés.

Cette pile ayant été chargée avec de l'eau tenant en dissolution neuf à dix centièmes de sel marin, et un soixante-dixième d'acide sulfurique concentré, a montré d'abord que l'eau était un mauvais conducteur, puisque l'on pouvait tirer des étincelles au moyen de deux fils de platine plongeant dedans, et en communication avec les pôles. Il ne se dégageait en même temps qu'une quantité de gaz à peine sensible; mais pour peu que l'eau contînt un acide, il s'en dégageait des torrents.

La commotion que donnait cette pile quand les mains étaient mouillées avec une dissolution acide ou saline, était insupportable; et les effets s'en sont fait

ressentir encore pendant plus de vingt-quatre heures. Quatre ou cinq personnes, formant chaîne, n'en étaient point sensiblement affectées, probablement en raison de la diminution dans la conductibilité du circuit ; il n'y avait que celles qui formaient les extrémités qui le fussent dans les bras et la partie du corps qui avoisinait la pile.

La potasse et la soude, soumises à son action, se sont échauffées, fondues et décomposées avec la plus grande rapidité. Le potassium et le sodium brûlaient en formant des jets enflammés qui imitaient une gerbe d'artifice. MM. Gay-Lussac et Thénard n'ont pu en recueillir des globules que lorsque l'action a été ralentie.

Vingt minutes après que la batterie eut commencé à fonctionner, la tension de l'électricité n'ayant pas changé et les commotions étant encore très-fortes, les alcalis ne furent plus décomposés.

La baryte, soumise à son action, a disparu, sous forme d'une fumée très-dangereuse à respirer ; des étincelles s'élançaient de la surface vers le fil négatif.

La strontiane et la chaux n'ont donné aucun signe sensible de décomposition.

La magnésie a résisté à l'action la plus énergique de la pile. En la soumettant à l'expérience, combinée avec l'acide sulfurique, elle n'a offert que de faibles indices de décomposition. Quant aux terres, elles n'ont donné aucun signe de décomposition.

484. Davy, qui a retiré le premier, de la potasse et de la soude, le potassium et le sodium, qui jouissent de la singulière propriété de s'enflammer sous l'eau pour redevenir potasse et soude, a opéré de la manière suivante : il mit de l'hydrate de potasse, légèrement humide, sur une plaque de platine communiquant avec le pôle positif d'une pile de cent à cent cinquante paires fortement chargée. Le pôle négatif communiquait avec la potasse, au moyen d'un fil de platine. Aussitôt il se déposa à l'extrémité de ce fil un grand nombre de petits globules de métal, qui jouissaient de la propriété

dont nous venons de parler. Davy en a conclu immédiatement que la potasse était formée d'un métal, auquel il donna le nom de potassium, qui se rendait au pôle négatif, et d'oxigène que l'on pouvait recueillir au pôle positif. Il fut démontré par là que la pile était capable de vaincre les plus grandes affinités connues.

Mais si cette méthode est parfaite pour montrer que l'action électrique est capable de vaincre les affinités les plus énergiques, elle ne peut servir à se procurer une certaine quantité de potassium, attendu qu'au fur et à mesure que les globules se forment, ils brûlent au contact de l'air. Il faut avoir recours alors à un autre principe; on conçoit, si l'on joint à l'action d'un courant peu énergique, l'affinité de certains corps pour le métal dont on veut opérer la réduction, que l'on puisse parvenir, en choisissant convenablement ces corps, non seulement à décomposer l'oxide, mais encore à faire entrer le métal en combinaison avec ces corps, d'où pourra résulter un composé qui sera moins facilement attaqué par le liquide environnant que le métal.

485. M. Seebeck a mis le premier ce principe en pratique, pour préserver de l'action de l'air le potassium; à mesure qu'il se déposait au pôle négatif, il le combinait immédiatement avec le mercure. Cette expérience peut être faite avec une pile d'un petit nombre d'éléments : on creuse à cet effet une petite cavité dans un fragment de potasse légèrement humecté, et on la remplit de mercure; ce fragment est ensuite posé sur la plaque de platine, tandis que le fil négatif plonge dans le mercure. L'alcali et l'eau sont alors décomposés; leurs principes constituants sont transportés à leurs pôles respectifs, et le radical de l'alcali, en se combinant avec le mercure, forme un amalgame qui ne se décompose pas, ou se décompose faiblement, tant qu'il fait partie du circuit. On le met ensuite dans l'huile de naphte pour empêcher qu'il ne soit décomposé au contact de l'air et de l'eau qui s'y trouve.

Pour en séparer ensuite le mercure, on place l'amal-

game dans un tube recourbé, fermé aux deux extrémités. En chauffant l'extrémité où se trouve l'amalgame, on chasse le mercure, et le potassium reste. Cette méthode ne peut servir à obtenir du potassium très-pur, attendu qu'il retient toujours une quantité plus ou moins petite de mercure. On y est parvenu cependant, mais avec des procédés qui ne sont pas de notre ressort.

La soude est décomposée par le même procédé. Quant aux terres et aux alcalis, nous avons fait connaître les expériences qui ont été faites à cet égard par MM. Gay-Lussac et Thénard; ainsi nous n'y reviendrons pas.

486. L'ammoniaque a été soumise au même mode d'expérimentation que la potasse et la soude; mais, quoique les résultats obtenus, sous le rapport de l'amalgamation, soient semblables, néanmoins les conséquences qu'on en a tirées sont très-différentes, comme on va le voir : dès l'instant que Davy eut décomposé les alcalis, il eut l'idée de rechercher si l'ammoniaque n'était pas également un oxide métallique. Il crut d'abord que ce corps, décomposé par l'électricité électrique, donnait une certaine quantité d'oxigène; mais Henry et A. Berthelet ont prouvé que lorsque l'ammoniaque était parfaitement anhydre, on n'obtenait que de l'hydrogène et de l'azote dans les proportions voulues pour la composition de cet alcali.

MM. Berzelius et Pontin essayèrent également de retirer de l'ammoniaque son radical métallique. Voici comment le célèbre chimiste suédois décrit, dans son Traité de Chimie, l'expérience qu'il fit à ce sujet: « On « met un peu de mercure au fond d'une capsule de verre « ouverte, et l'on y plonge un fil de fer ou de platine « qui communique avec le pôle négatif de la pile : on « verse sur ce métal de l'ammoniaque caustique con- « centrée, dans laquelle on plonge un fil de platine « communiquant avec le pôle positif, de manière qu'il « soit à une ligne de distance du mercure. Dans les « premiers moments, il n'y a que le fil positif qui donne « du gaz; mais bientôt des bulles commencent à se dé-

« gager aussi du mercure; celui-ci se gonfle, devient « peu à peu épais comme du beurre, prend une couleur « de blanc d'argent, et augmente cinq ou six fois de « volume. A cette époque l'amalgame n'est plus liquide, « et lorsqu'on l'enlève il se convertit rapidement, et avec « dégagement d'hydrogène, en ammoniaque; tandis que « le mercure revient à son volume primitif. Ce phéno- « mène paraît devoir s'expliquer de la même manière « que la décomposition des alcalis fixes qui a lieu dans « les mêmes circonstances, et il faut alors admettre « qu'un corps métallique est combiné avec le mercure. « Je donne à ce métal le nom d'ammonium. »

On peut se procurer l'amalgame ammoniacal en pratiquant dans un morceau de sel ammoniac une petite cavité, dans laquelle on place un globule de mercure qui communique avec le pôle négatif, pendant que le fil positif est inséré dans le sel légèrement humecté. Le globule augmente peu à peu de volume, et finit par remplir toute la cavité; cet amalgame a une couleur gris de plomb, sa texture est cristalline et il possède une pesanteur spécifique moins grande que celle de l'eau. Quand il renferme peu de mercure, il a la consistance du beurre. Il cristallise en cubes, lorsqu'on abaisse sa température jusqu'au point de congélation.

Davy adopta la théorie de Berzelius, et soutint que l'ammoniaque était réellement une combinaison de l'ammonium avec l'oxigène, et était par conséquent un oxide métallique.

Toutes les fois qu'il a décomposé cet amalgame hors du contact de l'air, il a obtenu constamment du mercure, de l'hydrogène et de l'ammoniaque. Suivant lui, ces deux derniers corps sont dus à une très-petite quantité d'eau, dont on ne peut jamais débarrasser l'amalgame.

MM. Gay-Lussac et Thénard ont soutenu une opinion toute différente, pour déterminer avec exactitude la composition de cet amalgame; ils ont opéré ainsi : après l'avoir fait bien sécher, ils l'ont versé dans un flacon

de verre, long, étroit, parfaitement sec, et rempli d'air, et l'ont agité pendant quelques minutes. La combinaison a aussitôt été détruite; les parties constituantes ont été séparées immédiatement et ont repris leur état ordinaire, sans altérer en rien l'air du flacon. Ils en ont conclu que l'amalgame qui ne pouvait exister que sous l'influence de la pile était formé d'hydrogène, d'ammoniaque et de mercure.

Cette explication ne fut pas admise et ne l'est pas encore par M. Berzelius.

Il a posé en principe que l'ammonium est un métal composé d'hydrogène et du radical présumé de l'azote, auquel il a donné le nom de nitricum, et que lorsque ce métal se convertit en ammoniaque par l'oxidation, il se combine avec autant d'oxigène qu'il en faut pour convertir le nitricum en azote. Il résulte de là que lorsque l'alcali est décomposé à une température élevée, le nitricum se change en azote et l'hydrogène devient libre. En partant de ces idées théoriques, M. Berzelius en a déduit la composition de l'ammoniaque considérée comme l'oxide d'un métal hydrogéné. Il admet que l'ammoniaque renferme 53, 4 de métal et 46, 6 d'oxigène, et l'ammonium 32, 56 d'hydrogène et 67, 44 de nitricum.

M. Berzelius avoue que les calculs qui lui ont servi de base pour établir la composition de l'ammoniaque et de l'ammonium reposent sur de simples probabilités que la théorie des proportions chimiques justifie. L'existence de l'ammonium est donc encore une question pour quelques chimistes.

§ III. *Suite de la réduction des oxides.*

487. Nous venons de voir qu'avec une pile d'un nombre peu considérable d'éléments on parvient à décomposer les alcalis, en employant l'affinité du mercure pour les métaux dont ils ne sont que les oxides. Le mercure n'est pas le seul corps que l'on puisse employer, lorsqu'il s'agit d'opérer la réduction d'autres oxides; le fer,

comme nous allons le voir, aide puissamment dans certains cas à cette réduction. Mais cette cause n'est pas la seule qui exerce une influence déterminante, car nous savons maintenant que la réaction de l'alcali ou de l'oxide, qui est transporté dans le tube négatif, sur le sel qui s'y trouve, concourt avec celle de l'hydrogène qui est à l'état naissant à la réduction des bases. D'après cet exposé, quatre causes peuvent donc concourir à la réduction d'une base; 1° l'action de la pile; 2° celle de l'hydrogène; 3° celle de la base qui arrive du pôle positif pour l'acide de l'oxide; 4° l'affinité de son métal pour celui d'un autre oxide qui se trouve dans la dissolution. D'un autre côté, la présence de l'eau étant souvent un obstacle à la décomposition des sels, principalement quand l'oxigène de l'eau a moins d'affinité pour l'hydrogène que n'en a le même gaz pour le métal, d'où dérive l'oxide, l'eau seule est dans ce cas décomposée. Il faut donc opérer sur des dissolutions très-concentrées et quelquefois sur les oxides eux-mêmes légèrement humectés, comme nous l'avons fait précédemment. Ces précautions ne suffisent pas toujours, surtout lorsqu'il s'agit de réduire les oxides les plus réfractaires. Il faut alors avoir recours à d'autres moyens. On conçoit parfaitement que le gaz hydrogène, en arrivant au pôle négatif, y exerce une puissance réductive d'autant plus énergique, qu'il reste plus de temps à l'état de gaz naissant, qui est l'état le plus favorable possible aux actions chimiques. Mais comment peut-on remplir cette condition? On conçoit que plus le courant est rapide, plus le dégagement de gaz l'est aussi, et moins il est probable qu'il reste de temps à l'état naissant; mais aussi, moins la pile agit avec force. Ne pourrait-il pas se faire que du balancement de ces deux forces résultât un maximum d'effets impossibles à déterminer *a priori*, mais que l'expérience pourrait faire connaître? Ce principe, dont on ne peut encore connaître les limites, a servi néanmoins à opérer la réduction de plusieurs oxides métalliques, regardés alors comme in-

décomposables par la pile, et même à obtenir leurs métaux cristallisés.

488. Réduction de l'oxide de fer.— Lorsqu'on soumet à l'action d'une pile d'un petit nombre d'éléments, une dissolution de proto-sulfate ou de proto-chlorure de fer, dans laquelle plongent deux lames de platine en communication avec la pile, il se dépose, dans l'espace de quelques minutes, sur la lame négative, du fer en petits grains, qui ne tarde pas à s'oxider aussitôt qu'il a le contact de l'air. On peut arriver au même résultat avec une pile composée de quatre ou cinq éléments, et même avec un seul couple voltaïque. Servons-nous d'abord de la pile à quatre ou cinq éléments, faiblement chargée, afin que son action soit soutenue pendant plusieurs jours, et de l'appareil de deux tubes déja décrit (fig. 125); dans le tube négatif on verse une solution de proto-chlorure de fer, et dans l'autre une solution de chlorure de sodium, et l'on règle l'action de l'appareil pour que le dégagement de l'hydrogène soit à peine sensible. La soude et l'hydrogène, en se rendant dans le tube négatif, y opèrent les changements suivants : l'alcali, en se combinant avec une partie de l'acide sulfurique, donne naissance à un double sulfate de fer et de soude, tandis que l'hydrogène, en réagissant sur l'oxide, à l'instant où il se sépare de l'acide, détermine sa réduction. Mais comme l'action est assez lente, le précipité n'a pas lieu d'une manière tumultueuse; le fer se dépose sur la lame négative, tantôt sous la forme d'une couche composée de très-petits cristaux qui lui donnent un aspect chatoyant, tantôt sous celle d'un métal coulé, quand l'action surtout a été très-lente, tantôt sous celle de tubercules arrondis, plus ou moins cristallins. Dans tous les cas le dépôt possède la propriété magnétique, qui, en raison de la pureté du fer, ne peut être attribuée qu'à la solution de continuité, existante entre toutes les parties. Dans l'acier qui possède la polarité magnétique, le carbone interposé entre les molécules s'oppose à la re-

composition des deux fluides dégagés pendant l'aimantation, ou détermine autour d'elle la circulation du fluide électrique qui produit l'aimantation. Dans le fer ordinaire, la torsion ou un état forcé quelconque des molécules produit le même effet. Dans le cas que nous considérons, il paraît que la solution de continuité entre les particules du fer jouit de la même propriété. Le proto-chlorure donne la plupart du temps un précipité uniforme sur toute la lame; le proto-sulfate donne naissance ordinairement à de petits tubercules; dans ces deux cas, le fer au contact de l'air s'oxide avec une assez grande rapidité, en raison de la ténuité des parties déposées.

On obtient les mêmes effets avec un seul couple voltaïque; il suffit de supprimer la pile, et de remplacer la lame de platine qui se trouve dans le chlorure de sodium par une lame de zinc dont la surface est décapée, puis de mettre en communication la lame de platine qui se trouve dans la solution de fer avec la lame de zinc. Celle-ci ne tarde pas à réagir sur la solution dans laquelle elle plonge; l'eau étant décomposée, ainsi qu'une portion du chlorure de sodium, l'hydrogène avec la soude sont transportés dans l'autre tube, où ils opèrent les mêmes réactions qu'en soumettant l'appareil à l'action d'une pile; il n'y a plus alors de dégagement d'hydrogène dans la solution de fer; tout le gaz est alors employé à la réduction du fer. Cette méthode est très-simple, et va nous servir à opérer la réduction d'autres oxides.

489. Réduction de la zircone. — La réduction de la zircone s'opère facilement avec une solution très-concentrée, qui renferme une petite quantité de fer; le mode d'expérimentation est le même que celui qui a été employé pour obtenir ce dernier métal. On verse dans un des tubes une solution d'hydro-chlorate de zircone, et dans l'autre une solution de chlorure de sodium. Dans la première on plonge une lame de platine, et

dans l'autre une lame de zinc; puis l'on établit la communication entre les deux lames; l'appareil est ensuite abandonné à lui-même. Il y a d'abord décomposition de l'eau et du sel marin, transport d'hydrogène et de soude dans le tube où se trouve le chlorure de zirconium; peu à peu la lame de platine prend une teinte grisâtre et l'on commence ensuite à apercevoir sur sa surface des lamelles carrées d'un gris d'acier très-brillant, lesquelles augmentent successivement d'étendue, jusqu'à avoir un demi-millimètre de côté. Ces lamelles, pendant un certain temps, n'éprouvent aucun changement, tant qu'elles restent sous l'influence du courant électrique; mais aussitôt que cette influence est détruite, elles se décomposent assez rapidement à l'air; en mettant la lame de platine dans l'eau, on ne tarde pas à apercevoir des bulles de gaz hydrogène, provenant de la décomposition de l'eau.

Les premières lamelles déposées sont formées d'un alliage de fer et de zirconium, dans lequel ce dernier métal s'y trouve en excès; les dernières qui se déposent ne paraissent renfermer qu'une très-petite quantité de fer, car en les laissant exposées à l'air, le produit de leurs décompositions est d'un blanc beaucoup moins terne que celui qui provient des premières lamelles.

En opérant avec une solution de zirconium qui ne renferme aucune trace de fer, il n'y a aucune apparence de réduction; la présence d'une très-petite quantité de fer dans la solution est donc une cause déterminante pour opérer la réduction de la zircone.

490. Il arrive très-fréquemment, lorsque l'appareil a fonctionné pendant un certain temps, que les lamelles métalliques s'altèrent, se ternissent, deviennent blanches, c'est-à-dire, se changent en zircone, puis disparaissent. Ces effets sont faciles à expliquer. L'action du petit appareil n'est pas indéfinie; il arrive un certain instant où la solution de chlorure de sodium est saturée de zinc, et cesse d'agir par conséquent sur ce métal; alors l'action électrique est très-faible, le zir-

conium déposé, n'étant plus dans un état négatif assez fort pour résister à l'action décomposante de l'eau, réagit sur elle, la décompose, et la zircone reformée est dissoute par l'excès d'acide. Pour conserver le zirconium ou l'alliage de zirconium et de fer, il faut dessécher la lame de platine dans le vide avec le chlorure de calcium, puis mettre rapidement cette lame dans un tube de verre bien sec, au fond duquel se trouve du potassium, et fermer l'ouverture à la lampe. Quand ces opérations sont exécutées promptement, les cristaux conservent toujours leur éclat métallique. Si l'on plaçait la lame dans du naphte, immédiatement après l'avoir retirée de la dissolution, la petite couche de liquide, qui adhère à la surface, suffirait pour décomposer les cristaux; il faut donc préalablement les faire dessécher dans le vide. Le zirconium, préparé par le procédé de Wohler, n'est pas attaqué sensiblement à la température de l'air; mais cette différence tient à ce que le zirconium préparé par la voie humide renfermant un peu de fer, forme une pile dans laquelle un des éléments étant plus oxidable que l'autre, s'oxide plus que s'il était seul. Les petits cristaux que nous avons décrits s'étendent facilement sous le marteau, et n'ont pas la consistance du zirconium obtenu par M. Bussy.

491. Réduction de la glucine, de l'yttria et de l'oxide de titane. — Les chlorures de glucine, d'yttria et de titane, qui renferment une petite quantité de fer, soumis au même mode d'expérimentation que le chlorure de zirconium, donnent des résultats semblables à ceux que nous avons décrits, savoir, des lames cristallines brillantes, d'un gris d'acier, qui s'oxident au moins aussi rapidement à l'air que celles de zirconium. Le mode de conservation est le même. Les chlorures parfaitement purs des mêmes bases ne donnent aucune trace de réduction.

492. Réduction de la magnésie. — La réduction de

la magnésie est beaucoup plus difficile à obtenir que celle de la glucine, de l'yttria, etc.; mais aussi on peut avoir le métal très-pur.

Davy, pour opérer la réduction de la magnésie avec une pile de cent éléments, a essayé d'employer le même procédé dont il s'était servi pour obtenir les métaux des alcalis, c'est-à-dire qu'il a voulu combiner immédiatement le magnésium avec le mercure; mais quand il a voulu séparer les deux métaux par la chaleur, il a trouvé que le magnésium commençait à réduire le verre avant que tout le mercure fût volatilisé; dès lors il n'a pu avoir le magnésium pur.

MM. Wohler et Bussy l'ont obtenu en traitant le chlorure de magnésium par le potassium, à l'aide de la chaleur. Ce métal, qui est d'un blanc argentin, n'éprouve d'altération de la part de l'air que lorsqu'il est humide; aussi peut-on le conserver dans des tubes de verre secs bien bouchés.

Pour opérer la réduction de la magnésie au moyen de l'électricité, on suit la marche suivante : lorsque l'on verse dans le tube négatif de l'appareil électro-chimique une solution concentrée de chlorure pur de magnésium, et dans le tube positif une solution de chlorure de sodium, et que l'on met ensuite en communication ces solutions avec la pile, au moyen de lames de platine, il n'y a aucune apparence de réduction; on obtient seulement de la magnésie au pôle négatif. Si l'on ajoute à la solution de chlorure de magnésium un dixième environ de son poids d'une solution de proto-chlorure de fer, ce dernier métal, en se précipitant, ne détermine pas la réduction de la magnésie, comme celle de la glucine et des autres bases terreuses dans leurs solutions respectives. Il se dépose seulement sur la lame négative une substance noire dont la nature n'a pas encore été déterminée.

Il n'en est plus de même quand on substitue au chlorure pur de magnésium un chlorure qui, ayant été préparé dans une bassine d'argent, renferme une petite

quantité de chlorure d'argent. Il se forme quelquefois, sur la lame négative, un dépôt gris, puis ensuite des tubercules de même couleur, et enfin des cristaux octaèdres d'un blanc argentin, qui possèdent toutes les propriétés du magnésium. Ce dépôt gris est un alliage d'argent et de magnésium, et les tubercules, ainsi que les cristaux, paraissent être formés de magnésium pur; les tubercules acquièrent sous le brunissoir un brillant métallique. Le tout se dissout avec effervescence dans l'acide hydro-chlorique. On voit donc que la présence de l'argent dans le chlorure de magnésium a déterminé la précipitation de ce dernier métal, et que l'opération, une fois commencée, a continué, quand tout l'argent même a été précipité. Nous devons faire remarquer que cette expérience a réussi cinq fois avec le même chlorure, et chaque fois l'opération a été conduite de manière que le dégagement de l'hydrogène était à peine sensible. On a employé successivement une pile de 30 éléments et une de 60, formée de la réunion de deux piles semblables à la première. Ces piles étaient chargées avec une dissolution légère de sel marin, contenant un centième d'acide sulfurique. Pour diminuer la vitesse du courant et augmenter la tension de l'électricité, on s'est servi d'un entonnoir de verre, dont le bec, qui avait un décimètre de longueur, renfermait de l'argile légèrement humectée. Cet entonnoir, qui contenait le chlorure de magnésium et d'argent, était plongé dans un vase qui renfermait une dissolution de sel marin.

Cette expérience ne réussit pas toujours; cela tient à des circonstances que l'on ne peut reproduire à volonté, et peut-être à la quantité de chlorure d'argent qui se trouve dans celui du magnésium; nous pouvons assurer qu'elle a réussi six fois et que nous possédons les produits de ces expériences.

Les faits que nous venons d'exposer établissent suffisamment le principe que nous avons posé, savoir : qu'avec des forces électriques peu intenses, aidées d'affinités chimiques convenablement choisies, on peut pro-

duire les plus grands effets possibles de décomposition.

Souvent dans les phénomènes électro-chimiques, et surtout dans ceux dont il est ici question, on est obligé, pour avoir des effets que l'on puisse comparer, d'employer des courants électriques sensiblement égaux en intensité; rien n'est plus simple que de les obtenir quand les solutions qu'ils traversent ont la même conductibilité électrique. Il suffit de plonger dans chacune d'elles une lame de platine que l'on met en communication avec le même pôle d'une pile, tandis que les deux dissolutions sont en rapport elles-mêmes avec l'autre pôle, au moyen de deux lames de platine. On peut ainsi diviser un courant en autant de courants partiels qu'il y a de solutions. Quand celles-ci ont la même conductibilité électrique et que les lames de platine, dans chacune d'elles, sont placées à la même distance, les courants ont nécessairement la même intensité.

Nous devons faire remarquer que plus les diamètres des tubes sont petits, plus l'action capillaire, exercée par les liquides sur leurs parois et l'argile inférieure, est considérable, et moins aussi on a à craindre le déplacement des solutions, dont le mélange détruirait tous les effets que l'on a en vue.

493. Réduction de la silice et de l'alumine. — Le silicium peut être retiré de la silice par la même méthode qui a servi à obtenir les métaux des terres, c'est-à-dire avec l'appareil des deux tubes. On prend une solution saturée de silice en gelée dans de l'acide hydro-chlorique concentré du commerce, qui renferme toujours une petite quantité de fer; dans l'autre tube on verse une solution de sel marin; on plonge dans celle-ci une lame de zinc, et dans l'autre une lame de platine. En vertu des effets électriques déja décrits, la lame de platine se recouvre peu à peu de lames métalliques d'un brillant éclatant, qui n'est autre chose qu'un alliage de fer et de silicium avec un excès de ce dernier métal. Les dernières parties de silicium qui se déposent ne renferment qu'une très-petite quantité relative de fer, car leur

altération à l'air donne une substance blanche comme la silice. Cet alliage, comme les autres, se décompose très-vite à l'air humide : pour le conserver, il faut employer les procédés décrits plus haut.

Ce qu'il y a de bien remarquable dans cette expérience, c'est que l'action de l'acide hydro-chlorique concentré, qui est si violente sur le silicium, tel qu'il est préparé ici, quand il n'est plus sous l'influence électrique, est détruite en totalité, par cette même influence, qui est très-faible en apparence, puisque l'appareil n'est composé que d'un seul couple voltaïque. Cet exemple montre encore qu'avec un simple courant on peut vaincre des affinités puissantes.

L'aluminium s'obtient par le même procédé.

§ IV. *Observations sur les alliages du fer*

494. Nous venons de montrer que l'on pouvait réduire certains oxides métalliques, en se servant de l'affinité que le fer exerce sur les métaux qui leur servent de base; il est bon de donner quelques notions sur les propriétés dont jouissent les alliages semblables que la chimie peut former.

Le fer se combine avec le silicium, quand on expose à une température élevée de la silice, de la limaille de fer et du charbon en poudre; le charbon aide ici à la réduction de la silice. Les propriétés de cet alliage varient suivant la quantité de silicium qu'il renferme; en général il est cassant ou ductile, suivant que cette quantité est plus ou moins grande. Ces alliages ne s'altèrent à l'air que lorsqu'ils renferment plus de 5 ou 6 pour cent de silicium.

Le procédé que nous avons décrit montre que l'on peut obtenir aussi des alliages de ces deux métaux en diverses proportions, puisque les dernières lamelles qui se déposent sur la lame de platine ne renferment qu'une quantité excessivement faible de fer. Quand l'appareil n'est composé que d'un seul couple, l'action étant très-

lente, la diminution du fer, dans les alliages, doit être graduelle, puisque l'opération marche sans interruption et que la quantité de fer diminue à chaque instant. L'alliage de fer et de glucium s'obtient, en chimie, en faisant fondre également un mélange de glucium, de charbon en poudre et de limaille; il en est de même de la combinaison du magnésium et du fer que l'on ne peut former en électro-chimie.

L'alliage de fer et d'antimoine se forme aisément au moyen de l'électricité; on le produit aussi en chimie, mais il faut opérer en vaisseaux clos, attendu que lorsqu'un métal est plus fusible qu'un autre, et est en même temps plus oxidable, la combinaison ne peut s'effectuer au contact de l'air; il n'en est plus de même en électro-chimie. Mais une circonstance s'oppose aussi quelquefois à la formation des alliages, quand un des oxides est plus réductible qu'un autre; dans ce cas, l'action de l'électricité se porte de préférence sur le premier. Dans ce cas, il faut employer le moins possible d'oxide du métal dont la réduction est la plus facile. Une dissolution qui contient du fer et de l'antimoine dans la proportion de 10 à 1, donne un alliage de ces deux métaux qui ne possède plus la propriété magnétique.

La chimie n'a encore pu parvenir à combiner le fer avec le titane, quoiqu'on trouve dans la nature une combinaison des oxides de ces deux métaux. L'électro-chimie fournit, comme nous l'avons vu, un alliage de ces métaux.

L'urane n'a pu être réduit encore de ses dissolutions ni par aucun métal, ni par l'action voltaïque.

L'oxide de cérium est également irréductible par les piles ordinaires. Mais Children, avec une batterie de vingt-deux plaques, longues de deux aunes chacune, l'a réduit, puis a brûlé le métal avec un feu très-vif. Il se présente sous la forme d'une masse pulvérulente d'un brun chocolat, qui, sous le brunissoir, prend un aspect métallique d'un gris foncé. Il a reconnu qu'il n'é-

tait pas assez bon conducteur pour faire partie d'un circuit métallique.

Iridium. Children, en exposant l'iridium à la décharge d'une grande batterie électrique, est parvenu à le fondre en un globule blanc très-brillant, un peu poreux. La pesanteur spécifique de ce globule était d'environ 18,68.

§ V. *Des métaux cristallisés.*

495. Les oxides métalliques, en se réduisant sous l'influence d'une pile voltaïque, produisent un amas confus de petits cristaux, attendu que l'action électrique est toujours plus ou moins forte; mais on peut obtenir les métaux cristallisés en employant une action lente et continue, puisque rien ne s'oppose alors au groupement régulier des particules.

Commençons par le cuivre, et rappelons-nous que lorsque les éléments des corps sont à l'état naissant, ils sont éminemment électriques. Prenons un tube en U (fig. 124), rempli dans la partie inférieure d'argile aussi pure que possible et légèrement humectée. Dans l'une des branches versons une solution de nitrate de cuivre, et dans l'autre une solution de sel marin ou d'un autre chlorure, acide, alcalin, ou neutre, peu importe. Plongeons dans chacune d'elles une lame de cuivre; si l'on met chacune en communication avec un multiplicateur, on verra sur-le-champ que la lame qui plonge dans la solution du nitrate de cuivre est le pôle négatif d'un petit appareil voltaïque, tandis que l'autre est le pôle positif. Deux causes concourent à la production des effets électriques : la première, la réaction des deux solutions l'une sur l'autre, en vertu de laquelle celle du nitrate, qui est acide, prend l'électricité positive à l'autre, laquelle est transmise à la lame avec laquelle elle est en contact, de sorte que l'électricité positive débouche dans la solution de chlorure; la seconde, la réaction du chlorure sur la lame de cuivre,

par suite de laquelle celle-ci prend l'électricité négative et joint son action à l'autre. L'existence de l'appareil voltaïque étant bien constatée, on détache les deux lames du fil du multiplicateur, et on les réunit l'une à l'autre avec un fil de cuivre, puis on abandonne l'appareil à lui-même. L'argile qui est placée dans le fond du tube est destinée à retarder autant que possible le mélange des deux solutions; il se passe souvent des mois entiers et même des années avant que le mélange se soit effectué. Pendant tout ce temps, les effets électriques que nous avons reconnus ne cessent d'avoir lieu; ces effets étant continus, s'ajoutent nécessairement; et comme ils sont produits par des actions chimiques qui mettent des éléments à l'état naissant, il s'ensuit que ces éléments sont transportés à leurs pôles respectifs, et peuvent donner naissance à de nouveaux composés qui cristallisent. Voilà l'avantage que l'on peut retirer des réactions chimiques produites par des forces électriques dont l'action n'est pas interrompue; mais pour l'instant, nous nous en tiendrons à la réduction du cuivre.

A l'instant où la solution de sel marin commence à réagir sur le cuivre, pour former un oxi-chlorure, le métal s'oxide aux dépens de l'oxigène de l'eau et de celui de l'air qui est dans l'eau. L'hydrogène, qui est à l'état naissant, se transporte sur l'autre lame qui plonge dans le nitrate, et joint son action à celle de la lame négative pour décomposer le nitrate. Le cuivre est réduit, et se dépose sur la lame en cristaux qui prennent peu à peu de l'accroissement. On obtient quelquefois des cristaux qui ont 1 à 2 millimètres de côté, quand l'appareil peut fonctionner pendant plusieurs années. Une condition essentielle à remplir est d'employer de l'argile très-pure, légèrement humectée et suffisamment tassée, sans l'être cependant trop, pour que le mélange des deux liquides soit excessivement lent. Si le tassement était trop fort et que l'argile ne fût pas assez humectée, le courant électrique ne pourrait plus passer, et il y aurait cessation d'effets; si le mélange était trop rapide,

l'action serait trop forte, et cesserait bientôt. Ce qu'il y a de mieux à faire est de disposer l'appareil pour que les deux solutions réagissent non pas l'une sur l'autre, mais sur l'eau de l'argile; dès lors on a une action très-faible. On doit laisser libres les deux bouts extérieurs des lames de cuivre, afin de pouvoir les mettre en rapport avec le multiplicateur, pour s'assurer si l'appareil fonctionne toujours; dès l'instant que le multiplicateur ne parle plus, il faut interrompre l'expérience et la recommencer. Les cristaux que l'on obtient sont la plupart du temps des octaèdres réguliers d'une grande netteté, et doués du brillant métallique le plus parfait. On obtient quelquefois des octaèdres segminiformes et des octaèdres à faces pentagonales.

D'où peut provenir cette variation dans la cristallisation? Nous n'avons pas encore pu en déterminer la cause, qui est due souvent à une circonstance excessivement légère. Nous avons reconnu cependant que la densité de la dissolution a souvent une influence déterminante sur la production des facettes secondaires qui remplacent les arêtes et les sommets; nous aurons l'occasion de revenir plus tard sur ce point, qui est d'une certaine importance pour la physique des atomes.

Les cristaux de cuivre obtenus dans les décompositions électro-chimiques appartiennent au système régulier, comme nous venons de le voir; mais il n'en est pas de même de ceux qui sont produits par le refroidissement du cuivre fondu. M. Seebeck a observé qu'ils appartenaient au système rhomboédrique. Il a trouvé, comme du reste on pouvait s'y attendre, que les cristaux de l'un et de l'autre système occupaient une place différente dans l'échelle thermo-électrique.

Le procédé que nous venons de faire connaître peut servir à opérer la cristallisation des métaux dont la réduction s'opère au moyen de l'électricité. Une précaution indispensable à prendre, est de mettre dans le tube positif un liquide qui puisse réagir chimiquement sur la lame de métal qu'on y plonge. Nous reviendrons sur

cette question, en traitant des phénomènes électriques appliqués à la géologie.

§ VI. *De l'action de la pile sur les acides.*

496. La pile, comme nous avons déja eu l'occasion de le voir en étudiant son action sur les sels, n'opère pas toujours la séparation immédiate de tous les éléments dont ils se composent, mais elle les sépare en deux groupes distincts : celui qui se rend au pôle positif est le composé ou l'élément électro-négatif, et l'autre le composé ou l'élément électro-positif. Cette grande division se retrouve dans toutes les décompositions électro-chimiques, quelle que soit la nature des corps soumis à l'expérience. Nous en allons voir la preuve dans l'action de la pile sur les acides ; mais, avant de traiter cette question, nous avons besoin de donner quelques développements sur le caractère des corps qui sont développés aux pôles.

Quand une solution est soumise à l'action décomposante d'une pile, elle cède aux conducteurs métalliques qui plongent dedans les éléments que le courant a séparés. Ces éléments, qui sont des résultats primitifs, comme nous venons de le dire, sont ou simples ou composés : ainsi l'oxigène et l'hydrogène, qui proviennent de la décomposition de l'eau, sont des résultats primitifs, comme l'acide et l'alcali, qui proviennent de la décomposition d'un sel, mais avec cette différence que dans le premier cas les éléments sont simples, et dans le second ils sont composés. Ils sont composés, en général, soit par suite de la réaction sur la matière même du conducteur de la substance qui s'y dépose, soit par celle de cette substance sur plusieurs principes de la solution, soit parce que ces mêmes principes, ne pouvant être séparés directement par l'action du courant, restent combinés. Nous étudierons successivement la formation de ces résultats composés, parce qu'ils sont d'une grande importance pour la théorie électro-chimique.

Si l'on se sert, par exemple, d'un morceau de charbon comme de conducteur positif, pour décomposer une solution d'acide sulfurique, on a de l'oxide de carbone et de l'acide carbonique au lieu d'oxigène. En opérant avec une solution de nitrate ou d'acétate de plomb et des lames de platine, on obtient sur la lame positive du peroxide de plomb, par suite de la réaction de l'oxigène sur l'oxide de plomb du sel tenu en dissolution.

497. La réduction des métaux a lieu en général au pôle négatif par l'action du courant; mais si l'on opère sur une solution métallique aqueuse, l'hydrogène qui provient de la décomposition de l'eau, et qui est transporté comme l'oxide au pôle négatif, aide, dans ce cas, à sa réduction, parce qu'il y arrive comme lui à l'état naissant.

Un exemple assez remarquable, cité par M. Faraday (1), montre avec quelle réserve on doit se prononcer sur le caractère des corps dégagés aux pôles. Une forte solution d'ammoniaque est un mauvais conducteur; mais il n'en est plus de même quand on y fait dissoudre du sulfate d'ammoniaque : on obtient alors de l'azote presque pur au pôle positif, et de l'hydrogène au pôle négatif, dans des proportions telles que l'ammoniaque semble avoir été décomposé. Mais si on opère avec l'électro-mètre de Volta, on trouve que l'hydrogène obtenu est exactement dans la même proportion que si l'eau avait été décomposée, tandis que l'azote n'est pas dans un rapport constant. On doit donc supposer que l'azote est ici un résultat secondaire dépendant de l'action chimique de l'oxigène naissant sur l'ammoniaque en dissolution; l'eau est donc décomposée, et non l'ammoniaque. M. Faraday fait observer à ce sujet, qu'il ne connaît pas d'expériences avec l'acide nitrique ou d'autres composés de l'azote, qui montrent la tendance de cet élément, sous

(1) Transact. philos., 1833, p. 708.

l'influence du courant électrique, à passer indifféremment dans l'une ou l'autre direction. On peut citer encore comme un exemple de résultats secondaires, les effets que l'on obtient avec l'acétate de potasse : on trouve qu'il y a plus de gaz dégagé sur la lame positive que sur la lame négative, dans la proportion de 4 à 3 à peu près. Celui de la lame positive est un mélange d'oxide de carbone et d'acide carbonique ; celui de la lame négative, de l'hydrogène pur. En opérant avec une solution beaucoup plus faible, il y a moins de gaz sur la première que sur la seconde, et alors on obtient de l'hydrogène carburé, aussi bien que de l'oxide de carbone et de l'acide carbonique. La présence de l'hydrogène carburé du côté positif a une apparence très-anomale; il n'est cependant, comme l'oxide de carbone et l'acide carbonique, qu'un résultat secondaire; c'est l'eau qui éprouve seule la décomposition électrique, et c'est son oxigène qui, en réagissant sur l'acide acétique, produit les substances qui se montrent sur la lame positive. M. Faraday a vérifié ce fait, en opérant avec l'électromètre de Volta. La quantité d'hydrogène dégagée, sur la lame négative, est toujours définie et exactement proportionnelle à l'électricité qui passe à travers la solution. Avec l'acétate de plomb, les résultats obtenus aux deux pôles sont secondaires. Quand on opère avec des dissolutions contenant des peroxides avec cet acide ou tout autre acide décomposable, on obtient des résultats encore plus compliqués.

Dans une foule de cas, on trouve également des résultats secondaires, que l'on reconnaît toujours après un examen attentif.

498. Abordons maintenant les phénomènes relatifs à l'action de la pile sur les acides (1).

Acide nitrique. Lorsque cet acide est fort, il est bon conducteur et cède l'oxigène au conducteur po-

(1) Philos. transact., 1834, p. 96.

sitif. Il n'y a aucune apparence de gaz du côté négatif, mais on y trouve de l'acide nitreux et de l'oxide d'azote qui, en se dissolvant, rendent l'acide jaune ou rouge. En dissolvant l'acide dans une fois son volume d'eau, ou plus, on voit paraître des gaz sur la lame négative, dont la quantité varie suivant les différences dans la force de l'acide ou celle du courant voltaïque. En examinant la quantité de ces produits, au moyen de l'électromètre de Volta, on trouve que l'oxigène d'un acide fort ou faible est dans la même proportion que l'oxigène de l'eau; avec une dissolution d'acide, ayant une pesanteur spécifique de 1,24, ou moins, on voit aussi que l'hydrogène de l'acide est égal à celui de l'eau. L'eau seule a donc été décomposée. L'oxigène, du côté positif, est toujours un résultat primitif, puisque les produits sur la lame négative sont dus souvent à la réaction de l'hydrogène sur l'acide nitrique.

Une solution de nitrate de potasse donne des effets secondaires très-variables, selon la forme du tube et les dimensions des lames conductrices; il en est de même du nitrate d'ammoniaque.

Acide sulfureux. Cet acide ne paraît pas affecté par le courant électrique, car M. Faraday a trouvé, avec l'électromètre comparateur, que sur le conducteur positif, l'oxigène de l'eau convertit l'acide sulfureux en acide sulfurique, et que, sur l'autre conducteur, l'hydrogène décompose l'acide sulfurique en se combinant avec son oxigène, et met le soufre en liberté. Le soufre n'est donc ici qu'un résultat secondaire.

Acide sulfurique. Nous avons déja fait connaître les raisons qui portent à croire que l'acide sulfurique n'est pas électrolysable; mais il éprouve quelquefois la décomposition par l'action secondaire au pôle négatif, en raison de l'hydrogène qui s'y développe.

Acide hydro-chlorique. Une forte dissolution de cet acide donne de l'hydrogène au pôle négatif, et du chlore seulement au pôle positif. Une partie du chlore agit sur le platine, et l'autre se dissout. M. Faraday a

conclu de plusieurs expériences, que l'acide hydro-chlorique est décomposé par l'influence directe du courant électrique, et que les quantités de gaz dégagées, et par conséquent l'action chimique, sont définies pour une quantité d'électricité définie.

Les solutions de chlorure, telles que celles de sodium ou de calcium, donnent du chlore seul du côté positif, et de l'hydrogène avec l'oxide de la base de l'autre côté. On ignore encore si la décomposition des chlorures est définie.

Acide hydriodique. Cet acide se comporte comme l'acide hydro-chlorique; les iodures ont offert le même mode de décomposition que les chlorures.

Acide hydro-fluorique. Il ne paraît pas être décomposé sous l'influence du courant; l'eau seule l'est. Des fluorures fondus sont décomposés, comme nous l'avons déja vu.

Acide hydro-cyanique. Quand cet acide est en dissolution, il est très-mauvais conducteur; néanmoins, l'action qu'il éprouve correspond entièrement à celle des acides hydro-chlorique et hydriodique. Les cyanures se comportent comme les iodures et les chlorures : le cyanure de potassium fondu développe du cyanogène du côté positif. L'acide ferro-cyanique et les ferro-cyanides, ainsi que l'acide sulfo-cyanique et les sulfo-cyanures, donnent des résultats analogues.

Acide acétique. Nous avons déja vu que cet acide cristallisé, lorsqu'il est fondu, n'est ni conducteur, ni décomposé par l'électricité. Si l'on y ajoute un peu d'acide sulfurique afin d'augmenter sa conductibilité, une proportion définie d'hydrogène se développe du côté négatif, tandis qu'au côté positif on recueille un mélange d'oxigène en petite quantité avec de l'acide carbonique et un peu d'oxide de carbone. Il paraît qu'une portion de l'acide est décomposée au pôle positif par l'oxigène, et produit des résultats secondaires.

Les acétates donnent des résultats secondaires à cause de l'acide acétique. L'acétate de soude fondu et anhy-

dre est directement décomposé ; il se développe de la soude du côté négatif, et de l'acide acétique du côté positif, qui éprouve ensuite une décomposition complète, c'est-à-dire qu'il donne du carbone et de l'hydrogène combiné au sodium.

Acide tartrique. Une solution pure est aussi mauvais conducteur que l'eau. En y ajoutant de l'acide sulfurique il devient conducteur, et les résultats du côté positif sont primitifs ou secondaires, dans diverses proportions, suivant les variations dans la force de l'acide et dans le pouvoir du courant électrique. Des tartrates alcalins donnent dans de fortes proportions des résultats secondaires au pôle positif. L'hydrogène à l'électrode négative reste constant, si ce n'est dans le cas où l'on emploie certains sels métalliques.

Des solutions composées d'acides végétaux, tels que les benzoates, le sucre, la gomme, etc., dans l'acide sulfurique, la résine, l'albumine, les alcalis, donnent des résultats secondaires au pôle positif.

CHAPITRE IX.

SUR LA NATURE DÉFINIE ET L'EXTENSION DE LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE.

499. Nous avons vu que le pouvoir chimique d'un courant électrique est en proportion directe avec la quantité absolue d'électricité qu'on fait passer. Cette loi est établie par rapport à l'eau, l'acide muriatique, l'acide hydriodique, les acides hydro-fluorique, hydro-cyanique, ferro-cyanique et sulfo-cyanique qui renferment de l'eau ; mais quoique l'eau paraisse inactive par elle-même, pour éviter qu'elle ne cause de l'ambiguïté, on peut opérer sur des substances où elle ne se trouve pas, telles que le proto-chlorure d'étain, comme l'a fait M. Faraday. Ce composé est soumis à la décomposition de la manière suivante : un fil de platine, enroulé à une de ses extrémités, est disposé comme l'indique la fig. 100, et scellé hermétiquement à l'une des extrémités. Ce tube est suspendu par un morceau de fil de platine, de manière à ce qu'on puisse y appliquer la chaleur d'une lampe à alcool ; du proto-chlorure d'étain récemment fondu est introduit en quantité suffisante pour remplir une moitié du tube lorsqu'il est liquéfié ; le fil du tube est mis en relation avec un électromètre de Volta, qui est lui-même en communication avec l'extrémité négative, et un fil de platine uni avec l'extrémité positive de la même batterie plongeant dans le chlorure. Cet arrangement est représenté fig. 101. Le chlorure d'étain est décomposé.

Le chlore développé sur la lame positive forme du bichlorure d'étain, qui s'évanouit en vapeur, et l'étain déposé à l'électrode négative se combine avec le platine et forme ainsi un alliage fusible à la température à laquelle le tube est soumis. Voici les résultats obtenus dans une expérience : la lame négative pesait d'abord 20 grains; après l'expérience, avec son alliage, 23, 2 grains. L'étain développé par le courant électrique pesait, par conséquent, 3, 2 grains. La quantité d'hydrogène et d'oxigène renfermée dans l'électromètre de Volta égalait 3, 85 pouces cubiques. Mais comme 100 pouces cubes d'oxigène et d'hydrogène, dans les proportions nécessaires pour former de l'eau, peuvent être considérés comme pesant 12, 92 grains, il en résulte que les 3, 85 pouces cubiques devaient peser 0,49742 grain. Or, le même courant qui décompose ce poids d'eau, décompose aussi un poids de proto-chlorure d'étain qui contient 3, 2 grains de métal. On a donc 0,49742 : 3,2 : : 9, l'équivalent de l'eau, est à 57, 9, qui serait par conséquent l'équivalent de l'étain, si l'expérience ne contenait aucune erreur. Or, dans quelques ouvrages de chimie, l'équivalent de l'étain étant représenté par 58, et dans d'autres par 57, 9, on peut donc regarder 57, 9 comme s'approchant beaucoup des deux résultats théoriques.

500. On n'obtient pas toujours un accord aussi parfait en expérimentant de la même manière sur du chlorure de plomb, à moins qu'on ne change la nature de la lame positive, attendu que le chlore réagit directement sur le platine et produit des effets composés.

La plombagine est une substance qu'on peut employer en toute sûreté comme conducteur positif dans des corps tels que les chlorures, les iodures, attendu que le chlore et l'iode n'agissent pas sur lui.

En expérimentant sur le chlorure de plomb comme sur le proto-chlorure d'étain, M. Faraday a trouvé que l'équivalent chimique du plomb donné par la moyenne de trois expériences est de 100,85 au lieu de 103,5.

Quoique ce nombre soit un peu inférieur à celui donné directement par d'autres expériences, on ne peut douter cependant que le plomb et le chlore ne soient développés en quantité définie par l'action d'une quantité donnée d'électricité. En expérimentant sur l'oxide de plomb fondu dans un petit creuset de porcelaine fortement chauffé par un feu de charbon de bois, il a trouvé pour l'équivalent du plomb 93, 17, nombre beaucoup plus faible que le précédent. Il a attribué cette différence au peu d'intervalle qui existait entre les électrodes positives, de sorte qu'il pouvait se faire que quelques-unes des bulles d'oxigène dégagées eussent touché le plomb réduit.

Le borate de soude a donné 101,29, qui se rapproche assez de 103, 5, résultat qui suffit pour montrer que l'action du courant a été définie.

L'oxide de bismuth n'a pu être soumis à l'expérience, parce qu'il exigeait une trop haute température.

Le protoxide d'antimoine, qui consiste en une proportionnelle de métal et une demi-proportionnelle d'oxigène, a été décomposé de manière à donner un résultat semblable.

L'iodure de plomb n'a donné que 75, 4 et 73, 45 au lieu de 103, 5. Cette différence doit être attribuée à la formation d'un périodure du côté positif qui, en se dissolvant dans la masse d'iodure liquide, dissolvait en même temps une partie du plomb développé du côté négatif. D'autres considérations lui ont prouvé que l'iodure de plomb n'offrait pas d'exception à la loi générale. On ne peut avoir aucun résultat avec l'iodure de potassium, à cause de l'impossibilité de recueillir le potassium.

M. Faraday a observé que lorsque la substance développée sur le conducteur positif a une forte affinité ou une affinité nulle, il n'en résulte pas de variations dans l'action définie du courant électrique, d'où l'on peut conclure que le pouvoir chimique d'un courant électrique est en proportion directe avec la quantité absolue d'é-

lectricité pour tous les corps qui éprouvent la décomposition électro-chimique.

501. Nous savons que les corps peuvent être divisés en deux grandes classes; dans l'une on range ceux qui sont décomposables par le courant électrique, et dans l'autre ceux qui ne le sont pas. Parmi ces derniers quelques-uns sont conducteurs, et le plus grand nombre sont non-conducteurs. La propriété décomposante des premiers ne paraît pas dépendre de la nature de leurs éléments, puisque avec deux éléments semblables on peut former des corps dont les uns appartiennent à la première classe et les autres à la seconde. Les substances qui sont séparées sous l'influence du courant électrique forment une classe très-importante; ce sont celles qui se combinent, et sont directement liées avec les parties fondamentales de la doctrine de l'affinité chimique. Elles ont chacune une proportion définie, dans laquelle elles se développent toujours pendant l'action électro-chimique. Ce sont ces substances que M. Faraday appelle ïons, avec la dénomination particulière d'anions ou de cassions, selon qu'elles se montrent à l'anode ou à la catode, c'est-à-dire au pôle positif, ou au pôle négatif. Les nombres qui représentent les proportions dans lesquelles elles se développent, sont les équivalents électro-chimiques. Ainsi, l'hydrogène, l'oxigène, le chlore, l'iode, le plomb, l'étain, sont des ïons; les trois électro-négatifs, des anions; les deux métaux des cassions, dont les équivalents électro-chimiques sont 1, 8, 36, 125, 104, 58. Nous devons indiquer ici quelques-unes des propriétés des ïons, d'après M. Faraday.

Un ïon élémentaire, c'est-à-dire un corps qui n'est pas combiné avec un autre, et qui n'est pas lui-même un composé d'autres ïons, n'a aucune tendance à passer à l'une ou l'autre électrode; il est parfaitement indifférent au passage du courant.

Si un ïon est combiné en proportions égales avec un autre qui est fortement en opposition avec lui, dans les rapports chimiques ordinaires, c'est-à-dire, si un anion

est combiné avec un cassion, tous deux voyagent; l'un va à l'anode, l'autre à la catode.

Un corps non décomposable, lorsqu'il est seul, tel que l'acide borique, n'est pas directement décomposé par le courant électrique; lorsqu'il est combiné, il peut agir comme un ïon en allant à l'anode ou à la catode; mais il ne cède quelquefois ses éléments que par l'action secondaire.

La nature de la substance dont l'électrode est formée, pourvu qu'elle soit conductrice, ne cause pas de différence dans le genre ou le degré de la décomposition électrique (500), mais par son action secondaire elle a une influence déterminante sur l'état dans lequel apparaissent les ïons. Cette propriété des électrodes a été l'objet d'études approfondies de notre part depuis dix ans, et nous en avons fait la base d'une nouvelle branche de la chimie. Nous aurons plus tard l'occasion de la développer.

Une substance qui est employée comme électrode peut se combiner entièrement avec l'ïon développé auprès d'elle dans une proportion représentée par son équivalent électro-chimique.

502. Des ïons composés ne sont pas nécessairement formés d'équivalents électro-chimiques d'ïons simples. Ainsi, l'acide sulfurique, l'acide boracique, l'acide phosphorique sont des ïons, mais non des composés équivalents électro-chimiques d'ïons simples.

Les équivalents électro-chimiques sont toujours en harmonie les uns avec les autres. Ainsi, 8 est l'équivalent électro-chimique de l'oxigène séparé, soit de l'hydrogène, soit de l'étain, soit du plomb, et 103, 5 est l'équivalent électro-chimique du plomb séparé de l'oxigène du chlore ou de l'iode.

503. Les équivalents électro-chimiques coïncident avec les équivalents chimiques ordinaires, et sont les mêmes que ceux-ci.

On peut déterminer les équivalents électro-chimiques de tous les ïons suivant le procédé qui a été employé pour l'hydrogène, l'oxigène, le plomb et l'étain. On

trouve que le chlore, l'iode, le brome, le fluor, le calcium, le potassium, le strontium, le magnésium, sont des ïons, et que leurs équivalents électro-chimiques sont les mêmes que leurs équivalents chimiques ordinaires. M. Faraday a observé que, dans quelques cas, les résultats secondaires, obtenus au moyen de l'action des ïons, développés dans les substances qui se trouvent dans le liquide ou la substance environnante, donnent l'équivalent électro-chimique. Ainsi, dans la solution d'acétate de plomb, et dans d'autres proto-sels soumis à reculer de l'action réductive de l'hydrogène naissant à la catode, la quantité du métal précipité a été la même que celle d'un produit primaire, pourvu qu'il n'y ait pas eu d'hydrogène mis en liberté, et par conséquent le métal a dû donner le nombre qui représente son équivalent électro-chimique. Cet habile chimiste n'a pas hésité à se servir des résultats de l'analyse chimique pour corriger les nombres obtenus comme résultats de la décomposition électro-chimique. Voici la table des ïons et de leurs équivalents électro-chimiques qu'il a donnée comme un essai et non comme une table complète de cette classe de corps; il la regarde comme d'une utilité extrême pour indiquer les rapports qui existent entre les affinités chimiques ordinaires et les actions électriques, et pour les identifier toutes les deux :

Anions.

Oxigène	8	Cyanogène	26,7	Acide phosphorique	25,7	Acide citrique	58
Chlore	35,5	Acide sulfurique	40	Acide carbonique	22	Acide oxalique	36
Iode	126	Acide sélénique	64	Acide boracique	24	Soufre (?)	16
Brome	78,3	Acide nitrique	54	Acide acétique	51	Selenium (?)	
Fluore	18,7	Acide chlorique	75,5	Acide tartrique	66	Sulfocyanogène	

Cassions.

Hydrogène	1	Étain	57,9	Mercure	200	Strontiane	51,8
Potassium	39,2	Plomb	103,5	Argent	108 ?	Chaux	28,5
Sodium	23,3	Fer	28	Platine	98,6	Magnésie	20,7
Lithium	10	Cuivre	31,6	Or	(?)	Alumine	(?)
Barium	68,7	Cadmium	55,8	—		*Protoxides généralement.*	
Strontium	43,8	Cerium	46	Ammoniaque	17	Quinine	171,6
Calcium	20,5	Cobalt	29,5	Potasse	47,2	Cinchonne	160
Magnésium	12,7	Nickel	29,5 ?	Soude	31,3	Morphine	290
Manganèse	27,7	Antimoine	64,62	Lithine	18	*Végéto-alkalis généralement.*	
Zinc	32,5	Bismuth	71	Baryte	76,7		

M. Faraday paraît convaincu, comme nous le sommes nous-mêmes depuis long-temps, que le pouvoir qui gouverne les décompositions électriques et les attractions chimiques ordinaires est le même, et il a une telle confiance dans l'influence qui régit les lois naturelles qui rendent définie la décomposition électrique, qu'il n'hésite pas à croire que les attractions chimiques doivent y être soumises également. Aussi il ne doute pas qu'en représentant l'hydrogène par 1 et négligeant quelques fractions, le nombre équivalent ou le poids atomique de l'oxigène est 8, celui du chlore 36, celui du brome 78, 4, du plomb 103, 5, de l'étain 59, quoiqu'une autorité très-puissante regarde plusieurs de ces nombres comme doubles des siens.

CHAPITRE X.

DES ACTIONS CHIMIQUES OPÉRÉES AU MOYEN DE L'ÉLECTRICITÉ ORDINAIRE.

§ 1er. *Des décompositions chimiques.*

504. Nous avons déja montré que les électricités émanant de diverses sources, donnaient naissance à des effets chimiques semblables; il faut maintenant reprendre cette question, en ce qui concerne l'électricité ordinaire, et montrer tout le parti que l'on peut en tirer pour opérer des réactions chimiques. Voici le procédé que nous devons à Wollaston pour opérer la décomposition de l'eau:

On introduit dans des tubes capillaires des fils très-fins d'or ou de platine, dont les extrémités sont ramollies à la lampe pour que le métal puisse s'appliquer exactement sur le verre. Avec un instrument tranchant, on coupe la portion du fil qui est en dehors de la partie fondue du verre, de manière à n'apercevoir avec la loupe qu'un point métallique.

Au lieu de fils très-fins d'or ou de platine, on peut, si l'on veut, les remplacer par des fils de platine recouverts d'argent. Après avoir coupé la partie excédante, on plonge le bout dans de l'acide nitrique pour dissoudre l'argent; il ne reste plus qu'un point d'une finesse extrême. On place deux de ces tubes dans un vase rempli d'eau, de telle manière que les pointes soient très-rapprochées l'une de l'autre (101 *bis*). Un des fils est

mis en communication avec le sol, tandis que l'autre est assujéti à un conducteur métallique placé à peu de distance du conducteur d'une machine électrique dont on tire des étincelles. Aussitôt que l'on met celle-ci en action, il s'opère un courant d'étincelles électriques, qui détermine aux deux pointes de métal un dégagement de très-petites bulles de gaz, que l'on recueille dans des tubes renversés pleins d'eau. En recueillant séparément les gaz, on trouve que le volume de l'un est double de celui de l'autre, que l'un entretient la combustion, et que l'autre détonne au contact de l'air. L'eau a donc été complétement décomposée. Quoiqu'on ait un dégagement de gaz continu, les bulles sont si petites qu'il faut un temps assez long pour en obtenir une quantité appréciable. Wollaston a trouvé que l'opération était d'autant plus rapide que la ténuité des pointes était plus grande; que dans ce cas l'action était concentrée en un seul point, et que lorsque l'on employait des pointes de $\frac{1}{700}$ et de $\frac{1}{1500}$ de pouce de diamètre, l'eau était décomposée avec les premières, quand la distance de la boule isolée au conducteur était de $\frac{1}{8}$ de pouce, et avec les secondes lorsqu'elle était de $\frac{1}{20}$ de pouce.

Il a cherché jusqu'à quel degré la force de l'étincelle pouvait être réduite par une diminution proportionnée dans l'extrémité du fil; il introduisit dans un tube capillaire une solution d'or dans l'eau régale. Ayant fait chauffer le tube pour évaporer l'acide, il resta une couche d'or excessivement mince qui garnissait l'intérieur du tube. Ce dernier ayant été chauffé jusqu'à l'amollir, il se forma au milieu du verre un fil d'or très-fin. En opérant avec ce tube, il trouva qu'un simple courant d'électricité faisait paraître une série de bulles très-petites à l'extrémité du fil d'or, quoique l'autre extrémité par laquelle ce fil communiquait avec le conducteur de la machine fût en contact parfait avec ce conducteur, et qu'il ne se produisît aucune étincelle dans le trajet de l'électricité.

505. Lorsque l'on soumet des corps moins bons con-

ducteurs, on peut se passer de pointes aussi fines que celles qu'on emploie pour l'eau, attendu que le défaut de conductibilité permet de faire acquérir à l'électricité une très-grande tension avant que l'étincelle éclate.

Si l'on veut opérer la décomposition des huiles, de l'éther, de l'alcool, etc., on se borne à les renfermer dans des tubes fermés par en haut, et traversés par des fils de platine terminés en pointes, qui pénètrent d'une certaine longueur dans ces tubes. On renverse ces derniers dans une capsule remplie de mercure, que l'on place à peu de distance d'un corps électrisé, pour en tirer une suite continue d'étincelles.

La pointe du fil qui traverse le tube doit être assez rapprochée du mercure pour que les étincelles puissent éclater de l'une à l'autre : on voit aussitôt les gaz s'élever dans la partie supérieure. Les bulles que l'on obtient avec les huiles, et en général avec les corps mauvais conducteurs, sont très-grosses. Quoique cette opération soit longue, on parvient néanmoins à obtenir avec un peu de patience des résultats qui sont d'accord avec ceux de l'analyse chimique. Nous allons en donner quelques exemples.

L'éther, d'après quelques essais, fournit du gaz oléfiant ou hydrogène bicarboné, et de l'oxigène, qui sont à peu près dans les proportions suivantes : gaz oléfiant, deux volumes; gaz hydrogène, un volume; oxigène, un demi-volume : ces deux derniers gaz forment un volume de vapeur d'eau.

La quantité d'éther décomposée, qui correspond à deux volumes de gaz oléfiant et à un volume de vapeur d'eau, fournit précisément les proportions de gaz que M. Gay-Lussac a trouvées pour la composition de ce corps, savoir, les gaz qui constituent deux volumes de gaz oléfiant et un volume de vapeur d'eau, lesquels sont condensés dans l'éther en un seul.

En soumettant au même mode d'expérimentation l'alcool, quelques essais ont donné sensiblement un volume de gaz oléfiant, un volume d'hydrogène et un demi-

volume d'oxigène, qui constituent un volume d'alcool, dont la composition est un volume de gaz oléfiant et un volume de vapeur d'eau condensé en un volume.

Les huiles donnent de l'hydrogène carboné, de l'hydrogène et de l'oxigène dans diverses proportions. Nous ne nous y arrêterons pas, attendu que notre but est de démontrer seulement le parti que l'on peut tirer de l'étincelle électrique pour décomposer tous les liquides bons ou mauvais conducteurs; avantage que l'on n'a pas avec l'électricité voltaïque.

506. Pour opérer la décomposition des solutions métalliques, on plonge dans une solution de cuivre deux fils d'argent entourés de cire à cacheter, de manière à n'en laisser voir que les extrémités. En faisant passer une suite d'étincelles à travers les fils, on ne tarde pas à apercevoir du cuivre revivifié sur le bout négatif; on peut, si l'on veut, mettre les deux fils en communication avec les conducteurs d'une machine à cylindre, qui donne en même temps les deux électricités. L'action marche alors un peu plus rapidement.

Nous avons dit précédemment que lorsque deux pointes très-fines de métal non oxidable sont placées à peu de distance l'une de l'autre, et qu'on y faisait passer une suite d'étincelles, on obtient à chaque pointe de métal un courant de gaz, savoir de gaz hydrogène à la pointe par laquelle s'échappe l'électricité positive, et de l'oxigène à celle par laquelle arrive l'électricité négative. On obtient le même résultat, comme nous l'avons déja dit, avec une seule pointe, pourvu que l'on fasse communiquer le liquide à la terre, avec une tige métallique ou un corps conducteur quelconque.

L'électricité, en traversant les corps solides, peut aussi les décomposer en séparant leurs éléments. Par exemple, quand une forte décharge traverse un fil de laiton, le cuivre et le zinc sont séparés, comme on peut le voir en recueillant ces produits sur une feuille de papier. On réduit par le même moyen les oxides d'or, d'argent et d'étain. Le sulfure de mercure est décom-

posé. Pour opérer ces décompositions, il faut placer ces corps dans des tubes de verre, sur les parois desquels se déposent les produits pendant les décharges.

507. L'étincelle électrique peut être employée avec avantage pour décomposer les gaz. On se sert à cet effet d'un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, près de laquelle sont fixés deux fils de métal qui pénètrent dans son intérieur. On remplit ce tube de mercure, et on le renverse ensuite dans un vase qui en renferme également; puis on introduit le gaz en quantité suffisante pour que le mercure soit déprimé jusqu'au dessous des fils de métal entre lesquels on fait passer l'étincelle électrique. Voici les résultats obtenus sur plusieurs gaz :

Gaz.	*Produits de la décomposition.*
Gaz hydrog. deuto-carb.	Carbone et hydrogène. Le volume d'hydrogène est doublé.
Gaz oléfiant.....	Carbone et hydrogène. Le volume d'hydrogène est doublé.
Hydrogène sulfuré....	Du soufre se dépose; du gaz hydrogène est mis en liberté. Le volume du gaz hydrogène sulfuré ne change pas. En effet l'hydrogène sulfuré étant formé de deux volumes de gaz hydrogène et d'un volume de soufre gazeux, condensés en deux volumes, son volume ne doit pas changer.
Gaz ammoniac.....	Hydrogène et azote. Le volume du gaz est doublé. On trouve effectivement, par l'analyse, trois volumes d'hydrogène et un volume d'azote, combinés en deux volumes.
Hydrogène phosphoré.	Il se précipite du phosphore, et il se dégage de l'hydrogène

	dont le volume ne change pas.
Gaz acide carbonique..	Une partie se transforme en gaz oxide de carbone, et le volume augmente; la décomposition n'est jamais totale.
Gaz acide hydro-chlorique.....	Henri a trouvé qu'il se décompose en hydrogène et en chlore.

Protoxide d'azote.....	De l'azote et de l'oxigène.
Deutoxide d'azote. ...	De l'acide nitreux et de l'azote.
Gaz nitreux.....	Acide nitrique et azote.

Ces exemples doivent suffire pour prouver que les gaz composés avec des précautions convenables peuvent être décomposés et leurs parties constituantes recueillies à l'état gazeux, pourvu qu'elles ne soient pas solubles dans l'eau ou dans le mercure, ou bien qu'elles ne puissent pas réagir les unes sur les autres. C'est donc un moyen de trouver les rapports qui existent entre les volumes des gaz composés et des gaz composants; avantage immense pour la théorie atomique.

§ II. *De la combinaison des gaz, au moyen de l'étincelle ordinaire; des Eudiomètres.*

508. Si l'étincelle électrique produit la décomposition des gaz composés, elle peut aussi, en réagissant sur leurs parties constituantes, déterminer leur recomposition. Nous touchons ici à une partie importante de l'électro-chimie, dont la chimie elle-même a reçu de grands secours; c'est un motif pour exposer avec des détails suffisants tout ce qui concerne la combinaison des gaz au moyen de l'électricité ordinaire. Introduisons, dans un tube de verre rempli de mercure, et renversé dans un vase contenant le même liquide, deux volumes d'hydrogène et un volume d'oxigène, de manière à occuper un espace d'environ un pouce; si l'on

fait passer ensuite une étincelle électrique entre deux fils de métal qui traversent le tube, les gaz s'enflamment avec détonation et le mercure remonte à la partie supérieure du tube, qui est alors recouverte d'une très-légère couche d'eau provenant de la combustion du mélange. Les parois du tube doivent avoir au moins un demi-pouce d'épaisseur, afin de pouvoir résister à l'expansion produite au moment de la combinaison des fluides élastiques.

Comme la quantité d'eau est toujours très-petite à la suite d'une détonation, on peut opérer de la manière suivante pour la rendre plus sensible. On prend un globe de verre épais, muni d'un robinet qui, pénétrant dans son intérieur, aboutit à peu de distance de la douille dans laquelle le robinet est vissé; on fait le vide dans ce globe, que l'on adapte ensuite sur un récipient également garni d'un robinet et rempli d'un mélange d'oxigène et d'hydrogène, dans les proportions voulues pour faire de l'eau. Les robinets étant ouverts, le ballon se remplit de gaz; après les avoir fermés, on dirige à l'intérieur du globe et à l'aide du fil de métal une étincelle qui se porte sur la douille : la détonation a lieu, et la surface intérieure du globe se recouvre aussitôt d'une couche d'humidité; on ouvre de nouveau les robinets, on les ferme ensuite, et on opère une nouvelle détonation : il en résulte encore une formation de vapeurs. On continue cette manœuvre jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de gaz détonnant dans le récipient. Quand le récipient est suffisamment grand, on finit par obtenir des gouttelettes d'eau appréciables.

509. Les appareils qui servent à opérer la combustion des gaz sont appelés *eudiomètres,* nom qui a été appliqué aux instruments destinés dans l'origine à déterminer la quantité d'oxigène contenue dans l'air, et qui peuvent servir également à l'analyse des gaz susceptibles d'être brûlés avec du gaz oxigène. On varie leur forme et leur construction suivant le but que l'on se propose. Nous allons décrire ici les principaux eu-

diomètres dont les chimistes font usage, soit dans les cours, soit dans les recherches analytiques :

1° (Fig. 102). AB est un tube de verre très-épais, ouvert en B et fermé en haut par une virole C en cuivre jaune ou en fer, suivant que l'on veut opérer avec l'eau ou le mercure; la virole est surmontée d'une tige D, terminée par une boule de même métal que le bouchon.

ff' est un fil de cuivre ou de fer tourné en spirale, aussi long que le tube, et terminé supérieurement par une boule *b;* on l'introduit dans le tube quand on veut expérimenter. Ce tube a ordinairement 7 ou 8 pouces de long et 7 ou 8 lignes de diamètre intérieur.

2° Cet instrument a été modifié par M. Gay-Lussac (1) de la manière suivante (fig. 103) : la partie moyenne correspond extérieurement à une sorte de main en métal M, destinée à fixer l'instrument pendant l'opération, et terminée par une virole brisée que la vis V presse contre l'eudiomètre. A la partie inférieure on adapte une virole *gh*, destinée à donner de la solidité à l'appareil. A cette virole on fixe, au moyen d'une vis *q*, une plaque IK, mobile autour de la vis. Cette plaque est percée à son centre d'une ouverture conique fermée par une soupape qui, lors de son mouvement, est maintenue par la tige *mn*, et dont la petite goupille fixe l'étendue de l'ascension. Enfin, pour que la plaque *ix* ait plus de solidité, elle entre dans une petite échancrure *k*, pratiquée dans le prolongement *l* de la virole *gh*. Au moment de l'explosion, la soupape pressée de haut en bas reste évidemment fermée; mais aussitôt qu'il se fait un vide dans l'eudiomètre, l'eau soulève la soupape et vient le remplir.

3° L'eudiomètre de Volta (fig. 104), dont on fait usage dans les cours de chimie, a été décrit de la manière sui-

(1) Traité de Chimie, Thénard, voy. p. 388, 1re édit.

vante, avec tous ses perfectionnements, par M. Thénard :

A B, tube de verre très-épais, de 20 à 25 centimètres de long sur environ 4 centimètres de diamètre.

C, pied de l'instrument, en cuivre jaune, évasé et creusé en forme d'entonnoir, surmonté d'une virole M.

D, robinet, dont la tige creuse se visse à la virole M.

E, virole fixée avec du mastic à l'extrémité B du tube A B, et se vissant au robinet D.

C′ D′ E′, partie supérieure de l'instrument, composée des mêmes pièces que l'inférieure : seulement le bassin C′ est moins évasé que le pied C.

F F′, petite tige de cuivre horizontale, fixée à la virole E′, se terminant extérieurement par une boule F, et intérieurement en F′, à une très-petite distance de la paroi interne de la virole E′. Cette tige traverse un petit tube de verre H, enduit extérieurement de résine et formant isoloir. Elle est destinée à porter l'étincelle électrique dans l'intérieur du tube A B.

G G, G′G′, conduits qui établissent une communication entre l'intérieur du tube AB et l'extérieur, au moyen des robinets D, D′.

A A (fig. 105), tube de verre divisé en un grand nombre de parties égales. B, virole en cuivre jaune, fixée avec du mastic au tube A A, et se vissant à l'extrémité supérieure du conduit G′G′ (fig. 104).

P (fig. 106), partie inférieure du tube A A, adaptée à l'extrémité supérieure du conduit G′G′, dans le bassin C′.

4° L'eudiomètre de M. Mitscherlich (fig. 106), qui est très-simple et donne des résultats exacts, se compose d'un tube de verre, long de 18 pouces à 2 pieds, en verre très-épais, et qui a été recuit avec soin. Il est ouvert à l'une de ses extrémités et fermé à l'autre; son diamètre intérieur est d'environ 4 lignes; sa capacité est divisée en parties égales, et les divisions sont gravées sur le verre. Près de son extrémité supérieure S, il est percé de deux ouvertures, dans lesquelles passent deux fils de

platine, qui se trouvent hermétiquement et solidement lutés à une distance telle l'un de l'autre, qu'une étincelle électrique puisse franchir l'intervalle qui sépare les bouts intérieurs. Les deux bouts extérieurs sont recourbés. A peu de distance de l'extrémité I, le tube est percé en travers d'un trou assez grand pour pouvoir être hermétiquement fermé avec un fort bouchon de verre usé à l'émeri. Ce bouchon, pendant la détonation, sert à éviter toute perte de gaz et à empêcher que lorsqu'on fait une expérience sur l'eau, l'air atmosphérique qu'elle tient en dissolution ne se mêle avec le gaz. Immédiatement après on retire le bouchon, pour que le liquide puisse remplir le vide qui s'est produit. Si l'on opère sur le liquide, on plonge l'instrument dans un cylindre de verre long, creux, fort et plus large en haut qu'en bas, dans lequel on peut enfoncer assez le tube pour égaliser le niveau intérieur et le niveau extérieur du mercure.

510. L'usage de ces appareils est facile à concevoir : l'inspection seule des figures suffit pour indiquer la manière de s'en servir. Prenons l'eudiomètre fig. 102 pour l'analyse de l'air, dans la cuve hydro-pneumatique. Le tube AB ayant été rempli d'eau, avec l'attention de n'y laisser entrer aucune bulle d'air, on le renverse sur la tablette de la cuve, et on y introduit successivement 100 parties d'air atmosphérique et 100 parties de gaz hydrogène bien pur, au moyen d'un entonnoir. La boule et la tige D ayant été essuyées avec du papier joseph, on introduit le fil *ff'* dans l'intérieur du tube, de manière que la bonde *b* se trouve à une petite distance du bouchon C. Tenant toujours plongée dans l'eau la partie inférieure du tube, et fermant l'ouverture avec l'index, on approche de la boule D le crochet d'une bouteille de Leyde chargée; à l'instant où l'étincelle paraît, la détonation a lieu. On mesure ensuite le gaz résidu, que l'on retranche des 200 parties de gaz introduites, et la différence divisée par 3 donne la quantité d'oxigène contenue dans l'air.

M. Thénard décrit de la manière suivante l'usage de l'eudiomètre de Volta (fig. 104) (1) : « On ouvre les ro-« binets DD', et l'on plonge l'eudiomètre perpendiculai-« rement dans l'eau de la cuve hydro-pneumatique. En-« suite on ferme le robinet inférieur, et l'on verse de l'eau « dans le bassin supérieur, jusqu'à ce que ce bassin, et « à plus forte raison l'eudiomètre, en soient remplis ; puis « on ferme le robinet supérieur, on rouvre le robinet « inférieur, et l'on place l'eudiomètre sur la table de la « cuve, en ayant soin de ne point laisser entrer d'air « sous le pied de l'appareil. Alors on fait passer dans le « tube AB les gaz mesurés dans le tube gradué AA. « On referme le robinet inférieur. On essuie la boule « et la tige FF', et l'on fait passer l'étincelle électrique « par cette tige, de la même manière que pour le petit « eudiomètre à gaz hydrogène. Cela fait, on rouvre de « nouveau, pour un instant, le robinet inférieur, afin « de permettre à l'eau de remplir le vide formé, et l'on « mesure le résidu gazeux. Pour cela, on remplit d'eau « le bassin supérieur C' et on en remplit également le « tube gradué AA ; on le visse par son extrémité B, à « l'orifice supérieur du conduit G'G', et on ouvre le « robinet supérieur D'. Par ce moyen, le gaz s'élève à « l'instant dans le tube AA ; lorsqu'il est passé tout en-« tier, on dévisse ce tube ; on en bouche l'orifice avec « le doigt, et on le plonge dans une éprouvette remplie « d'eau, etc. Si ce résidu excédait la capacité du tube « AA, on l'y ferait passer en deux fois, en fermant le « robinet D', au moment où l'on verrait que le tube « serait près d'être plein. »

Les appareils dont nous venons de donner la description ne sont pas employés seulement à l'analyse de l'air, on s'en sert également pour déterminer la combustion d'un grand nombre de gaz, au moyen de l'étincelle électrique.

---

(1) Traité de Chimie, t. v, p. 383, 4e édit.

511. Nous devons mentionner un petit appareil, appelé *pistolet de Volta*, qui sert aussi à enflammer le mélange détonnant. Il est formé d'un petit vase de métal, (fig. 107) rempli du mélange détonnant, que l'on ferme à volonté avec un bouchon de liége. Un fil de cuivre, terminé par deux boules de cuivre a, a', passe du dedans au dehors sans toucher métalliquement les parois. On remplit cette condition en passant ce fil dans un tube de verre tt, que l'on mastique sur le vase. L'étincelle entrant par le fil, passe de la boule a à la paroi opposée, et traverse par conséquent le gaz qui remplit le vase. La détonation a lieu aussitôt, et le bouchon est lancé au loin par la force expansive de la vapeur d'eau formée.

Nous devons rapporter à l'inflammation du mélange d'hydrogène et d'oxigène par l'étincelle électrique, l'effet suivant : lorsqu'une bougie vient d'être éteinte et qu'elle fume encore, si l'on fait passer à travers la mèche une forte étincelle, elle se rallume aussitôt. Les gaz dont se compose la fumée, et qui renferment évidemment de l'hydrogène carboné, en se mélangeant avec l'oxigène de l'air se trouvent dans une circonstance favorable pour être enflammés.

512. Nous devons parler ici de la lampe à air inflammable qui a été imaginée par Volta, et à laquelle on a fait de grands perfectionnements.

Cet appareil se compose d'un réservoir rempli de gaz hydrogène, soumis à la pression constante d'une colonne d'eau. Ce réservoir porte un robinet qui laisse échapper à volonté un filet de gaz par un petit ajutage. Au-dessous du réservoir est disposé un électrophore destiné à faire passer une étincelle dans un fil de métal, entouré de gomme laque, ou d'une matière isolante, et qui s'étend de la partie supérieure de la boîte au robinet, à la clef duquel l'électrophore est attaché par un cordon de soie ; le tout est tellement disposé, que lorsqu'on tourne le robinet, on élève en même temps le conducteur, et l'étincelle provenant du conducteur est transmise au

courant de gaz par le fil de métal isolé : aussitôt le jet de gaz est enflammé. Cette expérience peut être répétée un très-grand nombre de fois. M. Gay-Lussac a fait subir à cette lampe une modification qui en rend l'usage plus facile. Un des grands inconvénients était de remplir le récipient de gaz quand celui-ci avait été brûlé. M. Dumotier, mettant en pratique le principe donné par M. Gay-Lussac, a construit l'appareil dont nous donnons la coupe (fig. 108). Dans cet appareil, l'eau, qui exerçait une pression pour faire sortir le gaz, renferme de l'acide sulfurique. Dans l'intérieur du récipient on place verticalement un cylindre de zinc, qui plonge, par une de ses extrémités, dans l'eau acide aussitôt qu'une certaine portion de gaz s'est échappée. L'immersion du zinc dans l'eau acidulée produit un dégagement d'hydrogène, qui oblige l'eau, par sa force élastique, à remonter dans le vase d'où elle était descendue. Au moyen de cette disposition on peut réparer aussitôt la perte du gaz.

513. Priestley est le premier qui ait observé que, lorsqu'on fait passer pendant long-temps des étincelles électriques à travers une quantité donnée d'air atmosphérique, le volume diminue, et la teinture de tournesol introduite dans le vase devient rouge. Cavendish, qui a répété cette expérience avec soin, en a étudié toutes les circonstances et a trouvé qu'il se formait de l'acide nitrique par suite de la combinaison des deux éléments dont se compose l'air atmosphérique (1).

Pour faire cette expérience on emploie l'appareil fig. 109, qui se compose d'un tube recourbé en verre, d'un dixième de pouce de diamètre, rempli de mercure à peu près, et dont les deux extrémités plongent dans des vases séparés, contenant également du mercure. On introduit l'air dans la partie supérieure de la courbure, dans l'étendue d'un pouce ou d'un pouce et demi ; puis le mer-

(1) Philos. trans., t. LXXV, p. 372, et t. LXXVIII.

cure de l'un des vases est mis en communication avec le sol, et l'autre avec une boule de métal placée à peu de distance d'une machine électrique, de sorte qu'un courant d'étincelles traverse facilement la portion de l'air située dans la partie supérieure du tube. A mesure que le volume de l'air diminue, on en introduit de nouvelles quantités, de manière que la colonne ait toujours à peu près la même longueur. Cavendish a expérimenté avec cet appareil pendant quinze jours, une demi-heure chaque jour.

Ayant analysé la portion d'air qui restait, il a reconnu que l'oxigène et l'azote s'étaient combinés dans la proportion de sept volumes du premier et de trois environ du second. Il en conclut alors que l'acide nitrique était formé de sept volumes d'oxigène et de trois volumes d'azote; rapport que les chimistes modernes ont confirmé par d'autres expériences. Lui-même a montré l'exactitude de ce rapport, en introduisant dans le tube cinq parties d'oxigène et trois d'air commun; le mélange disparaissait peu à peu, à mesure qu'on l'électrisait. En plaçant dans le tube une solution de potasse, on accélérait l'opération, par suite de l'affinité de l'acide nitrique pour la potasse; on trouvait, après l'opération, du nitrate de potasse.

Arrêtons-nous à une observation qui n'a pas dû échapper au lecteur : dans l'expérience précédente, il n'y a qu'une très-petite partie d'azote qui soit convertie en acide nitrique, de sorte qu'il faut un temps très-long pour brûler entièrement un volume assez petit du mélange de ces deux gaz dans les proportions voulues pour former de l'acide nitrique. M. Berzelius a expliqué d'une manière satisfaisante pourquoi la masse entière de l'azote n'entre pas de suite en combinaison comme celle d'un mélange d'oxigène et d'hydrogène. Le gaz azote a besoin, comme tous les autres corps combustibles, d'une température élevée pour brûler. Or, sa combinaison avec l'oxigène n'élevant que très-faiblement sa température, et

les parties voisines du mélange gazeux, qui se combinent lors du passage de l'étincelle, ne s'échauffant pas, il n'y a que la partie dont la température a été élevée par le trajet de l'étincelle, qui puisse brûler. L'effet est le même quand on fait passer une étincelle électrique dans de l'air atmosphérique, qui renferme une petite quantité d'hydrogène.

514. Passons à d'autres combinaisons.

Un volume de chlore et un volume d'hydrogène donnent deux volumes de gaz acide hydro-chlorique.

Un volume d'oxide de carbone et un volume d'oxigène donnent un volume de gaz acide carbonique.

Le gaz acide sulfureux et l'oxigène donnent de l'acide sulfurique.

On peut se servir du même procédé pour faire l'analyse de l'alcool, de l'éther, etc..... Prenons pour exemple l'alcool : sa vapeur exige, pour être entièrement brûlée, trois fois son volume d'oxigène. On a pour résultat deux volumes de gaz acide carbonique.

La vapeur de l'éther, mêlée avec dix fois son volume d'oxigène, détonne avec violence, et donne naissance à quatre volumes de gaz acide carbonique.

Certaines huiles peuvent être analysées par le même procédé. Quand on fait passer une étincelle électrique dans de la vapeur de carbure de soufre, qui contient de l'oxigène, ce mélange s'enflamme aussitôt.

Le gaz hydrogène arseniqué n'a d'action sur le gaz oxigène bien sec, qu'à l'aide de la chaleur ou de l'électricité. Pour opérer la combustion, il faut employer deux fois autant de gaz oxigène que d'hydrogène arseniqué.

Le cyanogène, mêlé avec du gaz oxigéné, fait explosion au moyen de l'étincelle électrique.

Quatre parties d'ammoniaque gazeuse et cinq parties de gaz oxide nitrique sont enflammées par l'étincelle électrique et brûlent avec détonation.

L'hydrogène phosphoré et l'oxigène donnent de l'eau et de l'acide phosphorique.

L'hydrogène sulfuré et l'oxigène donnent de l'eau et de l'acide sulfureux.

L'oxigène et l'ammoniaque donnent de l'eau et de l'azote.

100 volumes de gaz oléfiant et 284 d'oxigène donnent de l'acide carbonique et de l'eau.

100 vol. de gaz oléfiant et 100 d'oxigène donnent l'oxide de carbone et de l'hydrogène.

100 vol. d'hydrogène carboné et 100 d'oxigène donnent l'acide carbonique.

En brûlant dans l'eudiomètre à mercure un volume d'hydrogène carboné et cinq volumes d'oxigène, avec l'étincelle électrique, il en résulte de l'eau qui se condense, et du gaz acide carbonique, qui reste avec l'excès d'oxigène; on trouve, en séparant ces deux gaz, qu'un volume d'hydrogène carboné est formé de deux volumes de gaz hydrogène, et de deux volumes de vapeur de carbone condensés en un seul.

515. En général, les corps gazeux qui renferment de l'hydrogène peuvent être décomposés par l'électricité en y ajoutant de l'oxigène; cependant il y a une limite dans les mélanges gazeux, au-delà de laquelle il n'y a plus d'inflammation. Les résultats suivants de M. Turner donnent une idée de cette limite, sans que nous puissions expliquer comment un volume ou demi-volume d'un gaz, ajouté au mélange détonnant, s'oppose à l'inflammation :

L'étincelle produite par une forte commotion électrique n'enflamme pas un mélange d'un volume de gaz explosif et de		L'étincelle produite par une forte commotion électrique fait faire explosion à un volume d'un mélange formé d'un volume de gaz explosif et de
volume.		volume.
12 ...	Air atmosphérique.....	...10
14 ...	Gaz oxigène.....	...12
9 ...	Gaz hydrogène.....	... 7
9 ...	Gaz oxide nitrique.....	... 7
4 ...	Gaz oxide de carbone.....	... 3
3 ...	Gaz acide carbonique.....	... 2
1 ...	Gaz carboné dyhydrique.....	... $\frac{1}{2}$
$\frac{1}{2}$ ...	Gaz du charbon de terre.....	... $\frac{1}{4}$
$\frac{1}{2}$ ...	Gaz sulfide hydrique.....	... $\frac{1}{4}$
1 ...	Gaz ammoniac.....	... $\frac{1}{2}$
4 ...	Gaz acide hydro-chlorique.....	... 3
2 ...	Gaz acide sulfureux.....	... 1

516. On ignore précisément comment l'agitation particulière que l'étincelle électrique imprime aux différents milieux qu'elle traverse détermine un nouvel arrangement des particules; on se demande pourquoi, dans certains cas, ce changement est instantané, tandis que, dans d'autres, il est graduel; ainsi l'étincelle électrique détermine rapidement la combinaison de l'oxigène et de l'hydrogène, quand ces deux gaz sont mélangés dans des proportions voulues pour faire de l'eau; au contraire, si l'on veut déterminer la combinaison de l'oxigène et de l'azote pour former de l'acide nitrique, il faut faire passer une suite d'étincelles dans le mélange de ces deux gaz pendant un temps assez considérable. Nous avons répondu en partie à cette question (513); mais on peut se demander encore comment il se fait que la cause qui unit les molécules des corps est aussi celle qui peut les séparer. Nous examinerons

toutes ces questions quand nous exposerons la théorie des phénomènes électro-chimiques.

Nous terminerons ce que nous avons à dire touchant les décompositions des corps au moyen de l'électricité, en donnant quelques développements sur les anneaux colorés, formés sur des plaques métalliques par les courants électriques, attendu que leur mode de formation, qui rentre dans les phénomènes de décomposition, peut jeter quelque jour sur les causes d'où ils dépendent.

CHAPITRE XI.

DES ANNEAUX COLORÉS, FORMÉS SUR LES PLAQUES MÉTALLIQUES PAR LES COURANTS ÉLECTRIQUES.

517. On doit à M. Nobili une nouvelle classe de phénomènes électro-chimiques, fort remarquables par leur singularité (1). On les obtient en concentrant le courant dans un fil de platine, dont l'extrémité plonge dans la dissolution que l'on veut décomposer, tandis que le courant, qui arrive de l'autre pôle, débouche, dans cette même dissolution, par un disque de métal placé perpendiculairement à la direction du fil, et le plus près possible de sa pointe. On varie la distance à volonté au moyen d'un mécanisme convenable; la fig. 110 représente l'appareil fonctionnant. Cet appareil se compose de deux de ces petits engrenages qui s'adaptent aux lampes pour élever ou abaisser la mèche. Ils sont placés verticalement, à la distance d'un pouce l'un de l'autre, isolés sur un pied, et soutenus à une hauteur suffisante pour que l'on puisse placer un petit vase au-dessous d'eux. Ces deux engrenages font mouvoir deux petites hampes, terminées inférieurement par des pinces, dans lesquelles se placent deux gros fils de platine, effilés à leur extrémité.

Soient P et N les pointes en question, communi-

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. xciv, p. 280.

quant l'une avec le pôle positif de la pile, et l'autre avec le pôle négatif; AB la lame métallique destinée à recevoir les apparences électro-chimiques. Cette lame est placée dans une soucoupe, qui renferme assez de liquide pour que celui-ci forme au-dessus une épaisseur d'une ou deux lignes. Les lettres *n* et *p* indiquent sur la lame les points auxquels correspondent exactement les pointes P et N. L'apparence négative se forme autour du point *n*, et l'apparence positive autour du point *p*.

Quand le courant est établi avec une pile à la Vollaston, composée d'une douzaine d'éléments, d'un pouce carré de surface, il se produit sur la lame des anneaux colorés, précisément vis-à-vis de la pointe qui termine le conducteur opposé. La couleur et la nature des anneaux dépendent de la nature des dissolutions, et varient suivant que la lame est en communication avec le pôle positif ou le pôle négatif. Quelques exemples vont donner une idée de ces phénomènes.

Opérons avec une solution de sulfate de cuivre, et successivement avec des lames d'argent, de platine, d'étain, de bismuth et de laiton; on n'obtient des effets qu'avec celles d'argent et de laiton. Quand la lame d'argent est positive, il se forme vis-à-vis de la pointe négative quatre ou cinq cercles concentriques, qui sont alternativement clairs et obscurs; lorsqu'elle est négative, on obtient trois petits cercles de cuivre, provenant de la décomposition du sulfate. Les deux cercles extrêmes sont d'un rouge foncé, et celui du milieu d'une couleur plus claire; quelquefois aussi il s'en forme quatre ou même cinq, qui alternent comme les précédents.

Le laiton positif présente de même des figures concentriques dont les teintes alternent également.

Sur le laiton négatif, dépôts analogues à ceux qui sont formés sur l'argent.

L'acétate de plomb produit, sur l'or et l'argent positifs, des iris concentriques aussi brillants que les anneaux colorés de Newton. Quand on multiplie les pointes négatives, il se forme sur la lame autant de systèmes

d'iris concentriques, lesquels ne s'entre-croisent pas, comme le font ordinairement les ondes, mais qui, lorsqu'ils sont parvenus au contact, s'étendent jusqu'au dehors, de manière à ne former qu'un seul contour extérieur.

Avec l'acétate de cuivre, les effets sont inverses, c'est-à-dire que les anneaux concentriques ne se forment que sur les lames négatives, tandis que les lames positives ne présentent aucune apparence remarquable.

L'urine sur l'argent positif donne naissance à plusieurs ordres d'iris très-brillants autour d'un centre obscur.

M. Nobili, qui a soumis à l'expérience un bon nombre de dissolutions, a été conduit aux deux résultats généraux suivants : « Le premier est la propriété reconnue « dans certaines substances électro-négatives de s'attacher, dans quelques circonstances, à la surface de « quelques-uns des métaux les moins oxidables, en « couches assez minces et assez régulières pour faire « naître sous mille formes variées l'élégant phénomène « des anneaux colorés. Le deuxième, lorsque les substances électro-négatives ne se déposent pas sur les « métaux en lames minces, elles attaquent leur surface, « non pas d'une manière uniforme, mais par intervalles « réguliers, suivant, pour ainsi dire, une loi analogue à « celle des interférences. Au pôle négatif on observe le « même phénomène, savoir, l'alternative des cercles « d'oxide et de métal pur. »

518. Dans les expériences précédentes, M. Nobili a obtenu les apparences les plus variées et les plus remarquables quand la lame de métal communiquait avec le pôle positif; il est parvenu à obtenir des phénomènes également remarquables au pôle négatif. Il a employé pour cela deux moyens. Le premier consiste à augmenter la force du courant; et le second, à mêler ensemble plusieurs solutions. Voici les faits qui font connaître l'emploi de ces moyens.

Prenons un mélange d'acétate de cuivre et de nitrate

de potasse. Sur l'argent négatif il se forme une série de cercles concentriques, dont le centre conserve le brillant métallique. Les cercles suivent cet ordre : deux petits cercles d'un vert peu chargé, un blanc, un rouge, un verdâtre, et une zone de cuivre d'un beau rouge de feu : cette zone est environnée d'un cercle azuré marqué de lignes rayonnantes, comme le serait un cercle gradué ; ses rayons s'étendent jusque sur le cercle de cuivre. Ensuite vient une seconde zone cuivrée, plus large que la première, mais également brillante, entourée d'un cercle d'un beau vert qui termine la figure. On observe les mêmes apparences sur l'or et le platine ; ce qui prouve qu'elles sont le résultat d'une décomposition électro-chimique.

Hydrochlorate de cuivre. Sur le platine négatif, révivification du cuivre en cercles de deux teintes environnées d'une zone lactée.

M. Nobili a obtenu également des effets de couleur très-remarquables en opérant sur diverses substances animales, telles que l'urine, le lait de vache, l'albumine de l'œuf de poule, le jaune du même œuf, la salive, etc.; ainsi que sur les substances végétales, telles que les sucs de carotte, d'oignon, de persil, de raisin, de pomme, etc. La première conséquence qu'il tire des résultats variés auxquels il est parvenu, est qu'il existe une différence entre le mode d'action des deux pôles. En général, l'action du pôle positif l'emporte beaucoup sur celle du pôle négatif, et la différence est encore plus sensible quand on opère sur des productions organiques.

Pour augmenter l'effet du pôle négatif, il faut non-seulement renforcer le courant, comme nous venons de le dire, mais ajouter encore aux solutions métalliques un sel à base alcaline. C'est surtout dans l'union de ce sel avec un sel à base de cuivre que les anneaux colorés deviennent plus étendus et plus riches en couleur. Quand on examine avec attention ces couleurs, on ne peut douter qu'elles ne proviennent ou de couches

minces qui sont successivement déposées sur les lames de métal, par l'action du courant sur les parties constituantes des solutions, ou bien de la réaction de ces parties sur les lames elles-mêmes. C'est à la présence de ces couches sur les lames de platine qui servent aux décompositions chimiques, que l'on doit attribuer la polarité électrique qu'elles acquièrent alors.

519. En général, les substances animales et végétales présentent des couleurs plus belles et plus vives que les solutions chimiques ordinaires; les couleurs produites par les feuilles sont plus marquées que celles qui résultent de la décomposition des racines. M. Nobili a voulu essayer d'expliquer la coloration des plantes, en s'appuyant sur les résultats que nous venons de rapporter. Voici comment il s'exprime à cet égard :

« Les couleurs que déposent au pôle positif les sub-
« stances organiques sont si belles et si variées, qu'elles
« aident à concevoir l'immense variété qui distingue à
« cet égard les deux plus beaux règnes de la nature. Une
« espèce, ou au plus deux ou trois espèces d'éléments
« électro-négatifs introduits en couches minces entre les
« tissus organiques des parties colorées d'un individu,
« pourraient suffire pour expliquer leurs diverses colora-
« tions. Les couleurs du règne végétal et du règne ani-
« mal sont en général plus vives et plus variées dans
« les zones géographiques chaudes que dans les zones
« froides; la chaleur varie l'aspect de nos phénomènes
« électro-chimiques et en ravive souvent les couleurs
« d'une manière surprenante : c'est là un nouveau point
« de rapport, qui n'est peut-être pas indigne d'être con-
« signé dans la partie philosophique de l'histoire natu-
« relle. »

Il existe des solutions chimiques, qui offrent des apparences également remarquables sur la lame positive et sur la lame négative; mais ce qui est digne de remarque, c'est que, quand les cercles se rencontrent, il s'opère une sorte de compression des deux figures l'une sur l'autre, et que, lorsque les cercles colorés sont

formés sur une des lames, on peut les faire disparaître, si ce n'est en totalité, du moins en partie, en intervertissant le sens du courant.

Les apparences électro-chimiques sont tout-à-fait différentes de celles que Priestley a obtenues avec l'électricité naturelle. Ce dernier physicien, comme nous l'avons déja vu (433), en faisant passer des décharges électriques successives d'une pointe sur une lame de métal, observa sur celle-ci des anneaux colorés. M. Nobili a prouvé que ces deux espèces d'apparences diffèrent essentiellement entre elles : celles de Priestley sont les mêmes, soit que l'électricité positive ou l'électricité négative arrive par la pointe. Quand on opère avec la pile, les effets sont différents, comme on l'a vu. Cette différence suffit pour prouver qu'il en existe également une entre ces deux ordres de phénomènes.

M. Nobili, pour bien se rendre compte des anneaux colorés obtenus avec l'électricité ordinaire, a étudié de nouveau ce phénomène. Il fit passer une trentaine de décharges d'une batterie de 14 pieds carrés sur des lames de cuivre, d'acier, d'argent et de platine. La distance entre la lame et la pointe était environ d'une demi-ligne. Chaque lame se colora vis-à-vis de la pointe, qu'elle fût négative ou positive, dans un espace circulaire de 2 ou 3 lignes. Le centre était presque creusé et granuleux, et portait par conséquent tous les signes d'un commencement de fusion. Les anneaux colorés se trouvaient autour de la petite cavité et étaient bien caractérisés sur le cuivre, tandis que sur l'argent et le platine leur teinte était très-faible. Sur l'acier, les couleurs étaient plus vives, mais moins cependant que sur le cuivre.

Mais comme les métaux qui se colorent en se refroidissant, après avoir été exposés à l'action d'une forte chaleur, sont précisément le cuivre et l'acier, qui donnent les plus belles nuances de couleurs, on peut regarder comme certain que les phénomènes observés par

Priestley doivent être attribués à des altérations des surfaces, ou au moins à la fusion.

Analysons maintenant le phénomène relatif à la production des apparences électro-chimiques, pour tâcher de découvrir les causes d'où elles dépendent.

Dans les expériences précédentes, on a obtenu l'apparence positive ou l'apparence négative selon que la lame était en contact avec la pointe P ou la pointe N; si l'on veut obtenir les deux apparences à la fois (1), il faut que les pointes P et N soient placées très-près de la lame. Pour obtenir les deux apparences d'une manière bien distincte, M. Nobili emploie le mélange de deux solutions d'acétate de plomb et d'acétate de cuivre.

Si la pointe N est d'abord en contact avec la lame, celle-ci devient alors toute négative, et elle reçoit, vis-à-vis de la pointe P, le plomb, le cuivre, et probablement le carbone de l'acide acétique. Ces principes se déposent régulièrement en cercles alternatifs et concentriques autour du point *n*, ces cercles se forment graduellement à partir du centre, et présentent des couleurs variées plus ou moins brillantes, avec une teinte obscure générale tout à l'entour.

En rendant, au contraire, la lame toute positive et soulevant la pointe N, on observe alors, vis-à-vis de celle-ci, une belle série d'anneaux entourés également d'une teinte obscure.

Si l'on soulève à la fois les deux points P et N, on obtient les deux apparences, qui conservent chacune les caractères individuels qu'elles avaient dans les deux cas précédents; mais elles en diffèrent cependant pour la grandeur et pour la forme.

Elles ne perdent aucun de leurs anneaux, mais elles se déforment dans les parties en regard et se refoulent en se repoussant mutuellement, comme si les anneaux étaient forcés de reculer les uns sur les autres. A l'exté-

(1) Bibl. univ. de Genève, t. XXXV, p. 261.

rieur on n'observe aucun changement sensible dans la forme des anneaux, qui sont doucement vaporisés à l'extérieur seulement. M. Nobili a pensé, avec raison, que cet effet dépend jusqu'à un certain point de ce que les parties successives d'un même courant se repoussant, les éléments transportés par ce courant doivent naturellement éprouver la même répulsion; d'où doit résulter un refoulement. L'expérience suivante peut servir à faire voir si une répulsion de ce genre ne serait pas capable d'éloigner l'une de l'autre les limites internes des deux apparences. Soit AB (fig. 111) la lame destinée à recevoir les deux apparences sous l'action des deux pointes P,N, qui plongent dans le liquide jusqu'à la ligne marquée *ll*. Mettons maintenant dans le milieu de AB une cloison mince de verre V qui, surpassant le niveau *ll*, empêche la communication directe entre les deux pôles. Quand la communication avec la pile est établie, les deux apparences ordinaires se forment sur AB. Mais, au lieu de rester, dans ce cas, séparées par un espace considérable, elles arrivent toutes deux à la cloison V, sans déformation sensible. Mais, si, à la cloison isolante V, on en substitue une de métal, les apparences restent distantes et écrasées comme dans la première expérience.

De là on peut conclure : 1° que l'état électrique de la lame n'exerce aucune influence sur la déformation des deux apparences; 2° que cette déformation dépend en quelque sorte de l'électricité qui passe directement par le liquide de la pointe P à la pointe N.

520. M. Nobili a observé qu'il y a une plus grande abondance d'électricité transmise d'une pointe à l'autre, quand la lame AB plonge dans le liquide conducteur, que lorsqu'elle n'y plonge pas. Il s'est assuré de cette augmentation au moyen d'un multiplicateur placé dans le circuit du courant. Ainsi, par exemple, sans la présence de la lame AB, la déviation était de 71 degrés, et en introduisant la lame, la déviation montait subitement à 75 degrés. La lame AB était de platine, et le liquide une dissolution d'acétate de cuivre mêlée avec une autre

d'acétate de plomb, afin de produire les deux apparences électro-chimiques.

On conçoit effectivement que lorsque la lame AB est introduite dans la solution, le courant fait son trajet de la pointe P à la pointe N, partie par la voie du conducteur humide, et partie par la voie de son conducteur métallique. Cette seconde voie étant meilleure que l'autre, il en résulte, pour la portion du courant qui préfère le chemin le plus facile, une augmentation d'intensité qui est appréciable avec le multiplicateur.

Pour s'assurer si les courants qui n'abandonnent pas la voie du conducteur humide, ont une intensité constante, ou si cette intensité varie en présence du conducteur métallique AB, on fait plonger dans le liquide, entre les pointes PN, deux fils très-fins de platine, communiquant avec le circuit d'un multiplicateur; on voit l'aiguille marquer une déviation, *qui diminue de plusieurs degrés*, quand on introduit la lame AB dans la solution. Cette diminution dans la déviation indique qu'une partie des courants a pris la voie du meilleur conducteur.

M. Nobili est parti de là pour chercher, à l'aide des apparences électro-chimiques, comment s'exécute le mouvement du courant entre les deux pôles P et N, indépendamment de la lame AB. Les effets ne sont pas suffisamment distincts sur des fils minces, tels que ceux dont on fait usage ordinairement, mais ils le deviennent avec des fils plus gros, et mieux encore avec des lames posées parallèlement l'une à l'autre, à la place des deux pointes P, N. Si l'on opère, comme de coutume, avec la solution d'acétate de potasse et de cuivre, on observe, 1° que les voiles électro-chimiques se forment d'abord sur les angles $a'a$ (fig. 112), qu'ils s'éloignent des trois côtés ab, aa', $a'b'$, non pas également, mais plus vite sur le côté horizontal et inférieur aa' que sur les deux verticales $a'b'$, ab; 2° qu'enfin l'apparence envahit l'intérieur de la lame cd, en formant des anneaux contournés comme l'indique la figure; puis, les voiles électro-chimiques se rejoignent en d. Cette description est relative à la face

intérieure de l'une des deux lames parallèles; quant à la face extérieure, elle se colore un peu plus tard que la face intérieure, mais à peu près suivant le même ordre. Si l'on considère maintenant deux fils P, N (fig. 113), en se reportant aux effets produits sur les lames, on doit en conclure que le rayonnement doit commencer aux pointes extrêmes P et N, et de là monter en P″ et N″ jusqu'au niveau du liquide. On voit donc que la décomposition électro-chimique ne commence pas au niveau du liquide en N″, P″, mais bien aux extrémités N, P.

Voyons maintenant comment se passe ce phénomène. Quand on introduit la lame AB (fig. 114) dans la solution, cette lame faisant partie du circuit, c'est entre elle et les pointes P, N que commence le rayonnement du courant. Le rayonnement s'étend ensuite un peu au-delà, jusqu'en P′ N′, et continue toujours à avoir lieu sur la lame AB; les courants arrivent ensuite jusqu'au niveau du liquide en P″ N″, mais ils ne parviennent jusque-là qu'après s'être partagés en deux filons, l'un direct par la voie de la lame, l'autre qui abandonne cette direction pour passer directement de l'un à l'autre. Il n'entre ici seulement que les parties internes des fils N″ N P″ P. Quant aux parties externes, elles continuent à rayonner leurs courants vers la lame AB, qui est exposée directement à son action, et d'où se précipitent les courants, quoiqu'ils soient forcés de se contourner pour passer du côté extérieur du fil à celui de l'autre. M. Nobili attribue à cette cause la dilatation qu'éprouvent les apparences électro-chimiques du côté extérieur, dilatation qui manque en partie du côté intérieur, parce que il y a suppression du rayonnement qui s'effectue par l'intermédiaire du conducteur humide.

Les centres des apparences semblent correspondre exactement aux pointes P, N, quand les deux apparences sont reçues sur une plaque très-voisine de ces pointes; mais si l'on éloigne tour à tour ces pointes de la plaque, on voit que tout le système est détourné (fig. 115); les apparences commencent alors à se former en *p n*,

comme si elles étaient animées d'une répulsion réciproque.

521. M. Nobili attribue cette particularité à la réaction de chacun des deux systèmes de courant qui s'établissent dans le liquide, l'un qui va directement d'une pointe à l'autre, l'autre qui pénètre dans la plaque AB. On vérifie cette influence des courants les uns sur les autres de la manière suivante :

Substituons à chacun des deux fils ordinaires, une espèce de fourchettes P P′ N N′ (fig. 116), et placées à égale distance de la plaque; alors il se forme deux apparences de même nom, qui ontleurs centres en p, p' et n, n', plus voisins que ne le sont les pointes P, N : cet effet, qui résulte évidemment de ce que les courants dirigés du même côté s'attirent, ne s'obtient qu'autant qu'on emploie une pile plutôt faible que forte, et des pointes fines qui plongent peu dans le liquide, et sont distantes de trois à quatre lignes de la plaque. Pour observer les effets de la répulsion des courants, quand ils cheminent dans des directions contraires, appliquons une bandelette d'étain (fig. 117) sur une plaque de platine A B, et recevons ensuite dans le milieu de celle-ci les anneaux colorés ordinaires qui constituent l'apparence positive de l'acétate de plomb. Sans la bande d'étain les anneaux restent tout ronds, tandis qu'avec la bande, les anneaux extérieurs restent écrasés du côté de celle-ci, et ronds dans le reste du contour. Or l'étain et le platine forment une combinaison voltaïque donnant lieu à un courant qui part de l'étain, et entre dans le platine après avoir traversé le liquide. Le courant qui produit l'apparence positive p, sort au contraire du platine. Les deux courants sont donc dirigés en sens inverse. Dès lors l'effet doit être attribué à la répulsion des courants.

522. Il paraît que les courants ne peuvent ni se croiser ni se superposer comme les rayons de la lumière, puisque tout courant est obligé de suivre un chemin séparé, comme le démontre l'observation des deux apparences contraires positive et négative, qui ne peuvent jamais

coexister dans le même endroit. M. Nobili a encore fait les deux expériences suivantes pour trouver la véritable route des courants, quand ils se croisent verticalement. Plaçons dans un vase, rempli d'une solution d'acétate de plomb, 4 petites plaques, comme l'indique leur projection en P, N, P′, N′ (fig. 118), chacune à l'extrémité d'une des diagonales d'un carré. Mettons en communication les deux plaques P, N, avec une pile, et les deux autres P′, N′, avec une autre pile, on aura par ce moyen deux courants qui se croiseront à angles droits. Les piles peuvent être de même force, ou de force inégale. Dans le premier cas, les deux piles ne fonctionneront pas séparément l'une de l'autre; elles ne formeront qu'un seul circuit qui passera deux fois par le liquide, l'une de P en N′ et l'autre de P′ en N, comme le démontrent les apparences positives qui commencent à se former en pp', du côté de nn'. Le plomb qui se réduit sur les lames négatives N, N′, indique aussi le même mouvement.

Avec des piles dont l'action est inégale, on a représenté l'effet produit dans la fig. 119; si la pile la plus forte est celle qui communique aux plaques P, N, son courant se divise en deux parties, l'une suit directement la diagonale PN, l'autre s'unit au courant le plus faible, avec lequel il fait le trajet indiqué dans l'expérience précédente. Cet effet peut être suivi sur la plaque P′, où la coloration n'a lieu seulement que du côté N. La plaque P se colore au contraire partout, mais un peu plus fortement du côté de N′, où passe le courant de la pile la plus faible.

La fig. 120 représente la direction du courant, telle qu'il résulte de l'ensemble des observations précédentes. Les courants qui vont des pointes à la plaque sont indiqués par une ligne ponctuée, et ceux qui vont directement d'une pointe à l'autre par des lignes pleines. Ces derniers forment les apparences les plus réelles.

523. Les apparences électro-chimiques, sur lesquelles nous nous sommes un peu étendus, en raison de leur importance, montrent de la manière la plus évidente que

lorsque les éléments électro-positifs et électro-négatifs des solutions soumises à l'action de la pile, sont transportés par le courant, ils réagissent les uns sur les autres pour se refouler dans deux sens opposés, par suite du principe que les portions contiguës d'un même courant se repoussent. Nous verrons, en exposant la théorie électro-chimique, le parti que l'on peut tirer de ce résultat pour faire concevoir comment le transport des éléments peut s'effectuer.

CHAPITRE XII.

DES DÉCOMPOSITIONS CHIMIQUES OPÉRÉES EN FAISANT INTERVENIR L'ACTION CHIMIQUE DES SOLUTIONS SUR L'UNE DES ÉLECTRODES.

524. A l'aide de forces électriques provenant d'un seul couple, dont l'action est continue, on obtient des effets chimiques plus ou moins considérables, si l'affinité de la dissolution pour l'une des électrodes vient joindre son action à celles de ces forces, ou les contrarier.

Nous voyons tous les jours que la nature, qui peut disposer d'un temps illimité, produit des effets immenses avec de très-petits moyens. Ces moyens échappent souvent à nos sens, parce qu'ils n'ont pas été assez étudiés et qu'ils ne rentrent pas dans le cercle habituel de nos recherches. C'est en travaillant sur une petite échelle, c'est en s'attachant pour ainsi dire aux particules des corps et à tout ce qui s'y rapporte, que l'on parviendra peut-être à découvrir une partie des ressorts que la nature met en jeu pour produire les phénomènes dus à l'attraction moléculaire.

Exposons quelques-unes des décompositions obtenues avec des forces électriques dont l'intensité est faible en apparence.

Il est hors de doute maintenant qu'une action voltaïque quelconque peut donner naissance à des effets chimiques : mais on ignore jusqu'à quel point cette action, quand elle est très-faible, influe sur les affinités, et s'il

ne se passe pas, au moment où celles-ci se manifestent, des phénomènes particuliers qui disparaissent dans l'effet général, lorsqu'on emploie une pile d'une certaine énergie.

On sait, par exemple, que lorsqu'on plonge dans une solution métallique deux fils d'un métal quelconque, qui communiquent chacun avec l'un des pôles d'une pile voltaïque suffisamment énergique, on obtient toujours sur le fil négatif de l'hydrogène, du métal réduit ou de l'oxide; mais quand la tension est excessivement petite, le phénomène se passe-t-il encore de la même manière? Tous les métaux jouissent-ils de cette propriété au même degré? Pour résoudre ces questions, il faut diminuer successivement l'intensité de l'électricité, et observer en même temps ce qui se passe dans les décompositions. C'est ce que nous allons faire.

Mettons dans un verre cylindrique une solution métallique, par exemple, de cuivre, et versons au-dessus, avec la plus grande précaution, de l'eau distillée ou de l'eau acidulée, en sorte que les deux liqueurs soient séparées l'une au-dessus de l'autre; si l'on plonge ensuite dedans une lame de cuivre, au bout de quelques heures cette lame est recouverte de cuivre précipité à l'état métallique. Diverses solutions métalliques ont donné les mêmes résultats. Il résulte de là que les métaux peuvent former, avec leurs propres dissolutions et de l'eau ou de l'eau acidulée, des chaînes dont l'action électrique précipite le métal.

Il y a ici deux effets électriques : l'un qui provient de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre; le deuxième de la réaction de l'eau acidulée sur la lame de métal: c'est donc un phénomène composé, car les actions s'ajoutent ou se retranchent, selon qu'elles vont dans le même sens ou dans des sens différents; dans ce cas-ci les deux actions s'ajoutent.

Certains phénomènes thermo-électriques et les actions chimiques simples dégagent ordinairement assez d'élec-

tricité pour produire des décompositions semblables à celles dont nous venons de parler.

Occupons-nous d'abord des décompositions opérées avec les courants thermo-électriques.

525. Plusieurs physiciens ont essayé, mais en vain, de décomposer l'eau avec des courants thermo-électriques; pour réussir, il fallait soumettre à l'expérience des sels qui fussent facilement décomposables par un faible courant, tels que le nitrate d'argent et l'iodure de potassium et disposer l'appareil de manière à déterminer la production d'un nouveau composé.

Soient deux fils, l'un de platine et l'autre de cuivre, d'une certaine longueur et d'un tiers de millimètre environ de diamètre; à l'un des bouts de chaque fil on forme un anneau, puis l'on passe les deux anneaux l'un dans l'autre; l'anneau du fil de platine étant très-petit, et celui du fil de cuivre d'environ 3 millimètres de diamètre. Quand on soude les deux anneaux, le courant va toujours dans le même sens, du platine au cuivre, soit que l'on chauffe à droite ou à gauche des points de jonction. Maintenant soudons un second fil de cuivre au bout libre du fil de platine, puis brûlons un peu de soufre sur l'anneau de cuivre, et plaçons ensuite une lampe à alcool sous l'anneau de platine, de manière à porter au rouge sa température, sans que celle de l'anneau de cuivre y parvienne bien sensiblement, condition que l'on remplit en mettant le fil de platine à l'extrémité de la flamme blanche, de manière que celle-ci soit à très-peu de distance de l'anneau de cuivre. Maintenant si l'on fait communiquer les extrémités libres des fils de cuivre avec les bouts du fil qui forme le circuit d'un galvanomètre, on a un courant électrique assez énergique, qui va du platine au cuivre.

On tient l'anneau de cuivre plus grand que l'autre, afin qu'il s'échauffe moins lorsqu'on porte au rouge la température de l'anneau de platine. Si l'on place, au contraire, le foyer de chaleur du côté du fil de cuivre, les effets électriques sont inverses, et si l'on substitue au fil de platine un autre fil de cuivre, les effets électriques

seront encore les mêmes. En exposant à la même température les deux anneaux, il n'y a aucun effet de produit.

La couche de sulfure dont est recouverte la surface de l'anneau de cuivre augmente sensiblement l'intensité du courant.

Voilà donc deux effets électriques distincts obtenus dans un circuit fermé, composé de deux fils de métal différents, selon que ces fils sont soudés ou ne font que se toucher en quelques points. Dans le premier cas, le courant va toujours dans le même sens, soit que l'on chauffe à droite ou à gauche des points de jonction; dans le second, il n'en est pas de même. La seule différence provient de ce que, dans l'un, il y a simplement contact, tandis que dans l'autre il y a contact accompagné d'une action chimique qui détermine la formation d'un oxide ou d'un sulfure.

526. L'expérience suivante montre l'influence de l'action chimique dans ces sortes de phénomènes : si l'on fait brûler un fragment de soufre à l'une des extrémités d'un fil de cuivre qui forme le circuit d'un galvanomètre, et que l'on pose l'autre bout dessus, au moment où la combustion est dans toute sa force, le courant électrique qui a lieu alors est des plus énergiques, et plus intense que celui qui provient d'une simple différence de température.

Soit maintenant un tube recourbé en U, contenant une solution de nitrate ou de sulfate de cuivre; plongeons dans chaque branche un fil de cuivre qui communique à l'un des bouts du fil formant l'appareil que nous venons de décrire; après une heure d'expérience, le bout qui correspond au côté négatif est recouvert de cuivre précipité à l'état métallique, tandis que l'autre s'est sensiblement oxidé.

Deux fils d'étain, disposés comme les fils de cuivre et plongés dans une dissolution d'hydro-chlorate d'étain, donnent les mêmes résultats, c'est-à-dire que le fil qui communique au côté négatif se recouvre de cristaux d'étain.

Les fils de zinc, d'argent et de plomb, plongés dans leurs solutions respectives, donnent lieu aux mêmes phénomènes.

Les fils de platine sont sans action sur la dissolution de platine. Nous voyons ici l'influence de l'action chimique qui a lieu entre les fils et la solution sur la décomposition électro-chimique.

Des fils de platine, d'or et d'argent, etc., plongés dans les dissolutions de plomb, d'étain ou de cuivre, et disposés comme ci-dessus, sont également sans action sur elles, bien que le courant ait toujours la même intensité.

Quand on plonge deux fils d'argent dans les dissolutions de sulfate et de nitrate de cuivre, le fil positif est toujours attaqué par l'acide, et il ne se forme pas sensiblement de précipité sur le fil négatif. L'oxigène et l'acide semblent donc se transporter ici plus facilement au pôle positif que le cuivre au pôle négatif.

Dans le nitrate d'argent, les fils de platine, comme ceux d'argent, produisent un précipité. Seulement il est plus abondant sur le fil d'argent que sur l'autre. On rend sensible cette différence en plongeant, en même temps, dans la dissolution un fil d'argent et un fil de platine enroulés l'un sur l'autre.

On voit donc qu'avec des courants faibles, d'égale intensité, les métaux facilement réductibles sont disposés à se précipiter plus facilement de leurs dissolutions sur des lames de même métal, que sur des lames d'un autre métal que celui qui entre dans la dissolution, et qui n'opère pas de précipité par lui-même, comme le fer plongé dans une dissolution de cuivre. Ce fait remarquable ne peut être observé qu'avec des appareils électriques à très-faible tension, attendu que, lorsque cette tension a une certaine énergie, le métal dissous se rend toujours au pôle négatif, quel que soit le fil ou la lame de métal qui plonge dans la dissolution.

D'où peut donc provenir, dans cette circonstance, la prédilection d'un métal, qui est combiné avec un acide, pour une lame de même métal? On ne voit que la force

de cohésion, quelle qu'elle soit, qui puisse avoir de l'influence, car on doit la supposer plus grande pour des molécules semblables que pour des molécules dissemblables. Dans ce cas, la force d'agrégation, plus celle du courant électrique, détermineraient la précipitation. On ne doit pas perdre de vue néanmoins que l'action chimique exercée par la solution sur le fil positif concourt aussi puissamment à l'effet général.

Si l'on veut obtenir des effets continus avec l'appareil thermo-électrique, il faut renouveler de temps à autre l'anneau de cuivre, dans lequel passe celui de platine, parce qu'il arrive un point où, le cuivre étant tout-à-fait oxidé, il y a solution de continuité, et alors les effets électro-chimiques cessent.

Un appareil formé avec un fil de platine et un fil de fer est sans action pour produire des décompositions. Cet effet négatif tient sans doute aux propriétés électriques singulières du fer, dont nous avons parlé, et sur lesquelles nous reviendrons.

L'appareil suivant est encore destiné à produire des actions électro-chimiques lentes et continues.

On prend deux petits bocaux en verre (fig. 121); dans l'un on verse de l'acide nitrique et dans l'autre une solution de potasse dans l'eau, et on établit la communication entre eux au moyen d'un tube recourbé en verre, rempli d'argile soudée, humectée d'une solution de nitrate de potasse ou de chlorure de sodium, puis l'on plonge dans chaque liquide une lame de platine fixée à l'extrémité d'un fil de même métal. On fixe ensuite, à chaque extrémité libre des fils de platine, le bout d'un fil de métal que l'on veut soumettre à l'expérience. La lame en contact avec l'alcali prend l'électricité négative qui se dégage dans sa réaction sur l'eau ou la solution du nitrate ou du chlorure, et celle qui est dans l'acide, l'électricité positive qui devient libre pendant la même réaction; on a donc une pile permanente, si l'on a l'attention de fermer les flacons pour éviter l'évaporation et l'action de l'air sur l'alcali. En plongeant plusieurs lames

de platine dans les bocaux, on peut agir alors sur plusieurs appareils à la fois.

On peut encore substituer à la potasse de l'eau, et plonger dans chaque bocal un fil de cuivre; il y a alors action chimique et courant électrique du cuivre à l'acide, qui est assez fort pour produire des décompositions semblables à celles que nous avons rapportées plus haut.

527. On ne peut douter que dans les décompositions électro-chimiques opérées avec des courants provenant d'une électricité à faible tension, l'oxigène et l'acide ne se rendent au pôle positif, comme dans les décompositions produites avec une pile formée de plusieurs éléments. Le fil qui communique au pôle négatif se recouvre bien de métal, mais quelquefois on ne voit pas que l'oxigène et l'acide se soient transportés au pôle positif; dans ce cas, ils ont formé un composé insoluble.

Nous avons montré aussi plus haut que, lorsqu'on plonge dans une dissolution de nitrate de cuivre deux fils d'argent en communication l'un et l'autre avec l'appareil à décomposer, le bout positif s'altérait visiblement, tandis que le bout négatif conservait sensiblement son brillant métallique, sans qu'on pût apercevoir sur sa surface aucune trace de cuivre métallique. De deux choses l'une, ou le cuivre est resté dans la dissolution comme cela arrive quelquefois quand il peut former un composé insoluble, et dans ce cas il n'y a pas eu transport des deux éléments du nitrate, quoiqu'il ait été décomposé, ou le dépôt sur le bout négatif est si mince qu'on ne peut le voir.

Soient maintenant deux petits vases en verre, de forme cylindrique; l'un renfermant une solution de nitrate de baryte et l'autre une solution de sulfate de cuivre. On établit la communication entre ces solutions au moyen d'un tube recourbé, d'un petit diamètre, renfermant de l'argile humectée par une solution légère de sel marin pour que le transport de l'électricité puisse s'effectuer aisément. On plonge, dans le sulfate, le fil de cuivre qu correspond au côté négatif de l'appareil, et dans le

nitrate de baryte, l'autre fil. Il est bien évident que si l'acide sulfurique se rend au pôle positif, en traversant la dissolution de nitrate, il se combinera avec la baryte et formera un précipité.

Or, voici ce qui se passe : après quatre ou cinq heures d'expérience, le bout négatif est recouvert de cuivre, la solution du nitrate de baryte ne s'est pas troublée sensiblement, et le bout positif s'est oxidé. Doit-on en conclure qu'il n'y a eu transport seulement que de l'oxigène, et que l'acide sulfurique est resté dans le sulfate? Cette question ne peut être résolue qu'en analysant les produits secondaires qui ont été formés dans les tubes; mais tout porte à croire que l'on trouverait du sulfate de baryte. En général, quand un des produits de la décomposition ne se trouve pas à l'un des pôles, on peut être assuré qu'il a été arrêté en route par des affinités supérieures.

Les acétates et sous-acétates de plomb sont aussi décomposés par les fils de plomb; mais l'acétate de cuivre, la dissolution saturée du même sel dans l'ammoniaque, résistent à l'action de l'électricité à petite tension, lorsqu'on plonge dans leurs dissolutions des fils de cuivre, Ces remarques ont quelque importance, attendu que ces sels sont facilement décomposables par les procédés ordinaires de la chimie.

CHAPITRE XIII.

DES COMPOSÉS ÉLECTRO-CHIMIQUES, OU PRODUITS SECONDAIRES.

528. En exposant les phénomènes relatifs aux décompositions opérées par l'électricité voltaïque, nous avons fait remarquer que les résultats de ces décompositions étaient simples ou composés, suivant la nature des corps soumis à l'expérience et celle des corps servant de conducteurs. C'est ainsi, avons-nous dit, qu'en décomposant une solution d'acide sulfurique avec un morceau de charbon, servant de conducteur positif, on avait, au lieu d'oxigène, du gaz oxide de carbone et du gaz acide carbonique, par suite de la réaction de l'oxigène, qui est à l'état naissant, sur le charbon. Nous avons cité d'autres exemples du même genre, en traitant du caractère des corps développés sur les lames métalliques, de la nature définie, et de l'extension de la décomposition électro-chimique.

Nous allons reprendre de nouveau cette question, et en poursuivre la solution aussi loin que le permet l'état actuel de la science, afin de montrer le parti que l'on peut tirer de l'action chimique de l'électricité pour expliquer une foule de phénomènes naturels qui, jusqu'ici, paraissaient être indépendants de cet agent universel.

Pendant long-temps on ne concevait pas comment, avec des forces électriques faibles en apparence, on pouvait vaincre de fortes affinités, pour décomposer les

corps et opérer de nouvelles combinaisons ; on pensait qu'il fallait toujours employer l'action de courants plus ou moins énergiques ; mais dès l'instant que l'on eut analysé les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques, on resta convaincu que l'on pouvait arriver au même but en utilisant convenablement ces effets. On conçoit effectivement que lorsqu'un couple voltaïque quelconque plonge dans une solution qui réagit sur un des éléments de ce couple, les particules de cette solution, à l'instant où elles sont mises en jeu par le fait de l'action chimique, se trouvent dans l'état le plus convenable, puisqu'elles sont à l'état naissant, pour obéir à l'action du courant électrique produit par le couple. Nous avons déja cité des exemples de ce genre ; mais nous aurons l'occasion d'en voir un plus grand nombre encore dans les chapitres qui vont suivre.

§ 1er. *Des oxides métalliques.*

529. *Or.* On a cru pendant long-temps que l'or se convertissait en oxide pourpre, par l'effet des décharges électriques ; mais il paraît que cet état n'est dû qu'à l'extrême division de ses parties, puisqu'on ne peut admettre qu'il s'oxide à la température à laquelle son oxide se réduit ordinairement. Ce qui tend à confirmer cette conjecture, c'est qu'on obtient également une poudre purpurine, quand on précipite l'or d'une solution très-étendue, par des corps qui réduisent son oxide.

Iridium. En exposant de l'iridium à la décharge d'une très-forte batterie électrique, Children est parvenu à fondre ce métal en un globule blanc, très-brillant, et encore poreux ; mais il n'est jamais parvenu à l'oxider.

Argent. Ce métal ne peut être oxidé à aucune température au contact de l'air ; mais on y parvient quand on l'expose en feuilles très-minces à l'action d'une forte batterie.

On peut même l'obtenir à l'état de suroxide ; c'est Ritter qui a découvert ce composé. Il se dépose sur le

conducteur positif d'une pile, quand on la décharge à travers une faible dissolution d'argent, en aiguilles cristallines longues, entrecroisées de trois à quatre lignes, douées de l'éclat métallique. Avec une action lente, on l'obtient en tétraèdres très-nets. Traité par l'acide hydro-chlorique, ce composé donne de l'oxigène et se transforme en chlorure d'argent; traité par l'ammoniaque, il se décompose et produit un dégagement d'azote. Mêlé avec du phosphore, il détonne par le choc du marteau. Il décrépite par la chaleur, se décompose et donne de l'argent pur.

Mercure. Lorsqu'on décharge une très-forte pile électrique à travers un très-petit globule de mercure, ce globule est lancé de toutes parts, s'oxide, et forme des étincelles rouges.

Palladium. Ne s'oxide pas au pôle positif de la pile.

Antimoine. Lorsqu'on se sert d'un morceau d'antimoine, comme de conducteur positif, pour décomposer l'eau, il se détache de la surface des flocons gris qui, traités par l'acide hydro-chlorique, se transforment en antimoine qui reste et en oxide d'antimoine qui se dissout. Ces flocons paraissent être un sous-oxide.

Le zinc et les métaux oxidables s'oxident facilement sous l'influence voltaïque quand ils servent d'électrodes positives; mais comme cet effet ne présente rien de particulier, nous ne nous y arrêterons pas, afin d'exposer d'autres procédés à l'aide desquels on parvient à obtenir cristallisés les oxides.

§ II. *Des oxides métalliques cristallisés.*

530. *Cuivre.* Pour obtenir des cristaux de protoxide de cuivre, on prend un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités, et au fond duquel on met du deutoxide de cuivre (fig. 122); on remplit ce tube d'une dissolution de nitrate de cuivre saturé, puis l'on y plonge une lame de cuivre, qui touche aussi le deutoxide, et l'on ferme le tube hermétiquement. Au bout d'une dizaine de jours,

on commence à apercevoir sur la lame de cuivre des petits cristaux octaédriques brillants, d'un rouge foncé. Pour découvrir les phénomènes électriques qui les produisent, il faut prendre deux capsules de porcelaine remplies d'une dissolution de nitrate de cuivre et communiquant ensemble avec une mèche de coton; puis l'on plonge dans chacune d'elles le bout d'une lame de cuivre, dont l'autre est fixée à l'une des extrémités du fil d'un excellent multiplicateur. Tout étant semblable de part et d'autre, il ne se manifeste aucun courant; mais si l'on répand du deutoxide de cuivre sur la partie de l'une des lames qui plonge dans la dissolution, peu après il y a production d'un courant, dont le sens indique que la lame en contact avec le deutoxide a pris l'électricité négative; il suit de là que la lame qui est dans l'autre capsule est le pôle négatif de la petite pile qui opère la décomposition du nitrate de cuivre. Or, dans le tube, il se passe un effet absolument semblable : la partie de la lame qui est en contact avec le deutoxide est le pôle positif, tandis que l'autre est le pôle négatif. Nous reviendrons dans l'instant sur la cause qui donne naissance à cette pile. L'existence de celle-ci étant constatée, la portion de la lame de cuivre qui n'est pas en contact avec le deutoxide doit attirer le cuivre à l'état métallique, ou ses oxides, suivant la force du courant; il est donc tout naturel que le protoxide de cuivre s'y porte, si le courant a une énergie convenable. Il cristallise, parce que l'action électrique étant très-lente, et par suite, l'action chimique, les molécules ont le temps de s'arranger suivant les lois de la cristallisation, bien que le corps soit insoluble, avantage que l'on n'obtient jamais quand les forces chimiques ont une certaine intensité.

Suivant la quantité plus ou moins grande de deutoxide de cuivre renfermée dans le tube, il s'y passe des phénomènes différents. Supposons qu'il y en ait un grand excès; il y a d'abord production et cristallisation de protoxide; la dissolution se décolore peu à peu, de-

vient ensuite incolore, et l'on aperçoit sur les parois intérieures du tube des cristaux de nitrate ammoniac. La liqueur ne renferme plus alors qu'une solution saturée de ce sel et quelques traces de cuivre ; il s'écoule quelquefois une année et plus avant d'obtenir ce dernier résultat, qui dépend de la quantité de deutoxide employée. Tout ceci se passe sans le contact de l'air, puisque le tube est fermé hermétiquement; l'ammoniaque a dû être formée aux dépens de l'hydrogène de l'eau et de l'azote de l'acide nitrique.

Quand la quantité de deutoxide est très-faible, voici ce qui arrive : les cristaux de protoxide se forment également sur la lame de cuivre ; mais peu à peu ils perdent de leur éclat, et finissent par éprouver une altération qui s'arrête à un certain point; la dissolution reste toujours colorée. L'expérience est alors terminée, et le temps n'apporte plus aucun changement dans la dissolution.

Pour expliquer les faits que nous venons d'exposer et remonter à la cause des phénomènes électriques qui les ont produits, nous avons dû faire l'analyse des cristaux octaédriques et celle de la substance qui remplace le deutoxide du même métal. Le changement qu'éprouve le deutoxide peut seul nous éclairer sur l'origine des effets électriques.

Ces cristaux jouissent des propriétés suivantes : leur poussière est rouge ; elle se dissout dans l'ammoniaque sans la colorer ; il en est de même dans l'acide hydrochlorique. Cette dernière dissolution est troublée par l'eau et se colore en bleu par l'ammoniaque; ces caractères nous annoncent que ces cristaux appartiennent au protoxide de cuivre.

Analyse de la substance qui remplace le deutoxide de cuivre.

531. Nous avons pris deux grammes de cette substance ; après les avoir bien lavés et séchés, nous les avons

traités à chaud par une solution de sous-carbonate de potasse. La liqueur filtrée a été saturée peu à peu par l'acide sulfurique jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de réactions alcalines. Nous avons rapproché la solution par l'évaporation, et nous avons fait cristalliser. Nous avons obtenu $1^{gr},0$ de nitrate de potasse, plus des eaux-mères que nous avons négligées.

Le sel insoluble qui est resté sur le filtre était du carbonate de cuivre, lequel séché, pesé, nous a donné $1^{gr},6$.

Or, 1 gramme de nitrate de potasse, en admettant que l'atome de ce sel renferme deux atomes d'acide et un atome de base, contient $0^{g},5$ d'acide et 0,45 de potasse.

De même le carbonate de cuivre, étant formé d'un atome de deutoxide de cuivre et d'un atome d'acide carbonique, donne 1,2 d'oxide et 0,4 d'acide carbonique.

Il suit de là que la substance qui a été soumise à l'analyse est un sous-nitrate dont la composition est :

	Résult. calc.	résul. de l'exp.
2 atomes d'acide nitrique.....	0,5	0,62
3 atomes de deutoxide de cuivre..	1,2	1,37

On voit, d'après cette analyse, que le deutoxide de cuivre s'est transformé en sous-nitrate de cuivre; ce résultat nous met à même d'expliquer les effets électriques qui donnent naissance au protoxide de cuivre et aux autres produits qui l'accompagnent.

Le tube de verre, qui est fermé hermétiquement, renferme du deutoxide de cuivre, une dissolution saturée de nitrate de cuivre, et une lame de cuivre en contact avec l'un et l'autre. Le deutoxide, s'emparant d'une portion de l'acide du nitrate, il s'ensuit que la partie de la lame qui touche le deutoxide se trouve en contact avec de la dissolution de nitrate de cuivre qui est moins saturée que celle dans laquelle plonge le bout supérieur. Il doit résulter de là un courant, puisque la lame de cuivre se

trouve plongée dans deux solutions qui ne sont pas saturées au même degré.

Le bout supérieur est le pôle négatif, tandis que celui du bas est le pôle positif. Le premier doit attirer, par conséquent, le cuivre ou ses oxides, et le second l'acide; c'est précisément ce qui arrive. On voit donc qu'il est tout simple que le protoxide de cuivre se déposé sur la partie supérieure de la lame. L'action de cette pile doit être excessivement faible d'abord, attendu que le deutoxide, surtout quand il est anhydre, agissant difficilement sur l'acide du nitrate, la différence entre ces deux liquides est très-petite; mais avec le temps le nitrate perdant peu à peu son acide, qui n'est remplacé que difficilement par celui de la partie supérieure, il s'ensuit que la différence entre le degré de concentration des deux dissolutions augmente. L'action chimique de la pile doit suivre le même rapport; aussi à la fin de l'opération aperçoit-on des cristaux de cuivre, surtout dans la partie supérieure. Comme cette marche est graduelle, on doit obtenir cristallisées toutes les bases, depuis le protoxide jusqu'au métal, excepté cependant celles qui peuvent réagir sur le nitrate de cuivre.

L'expérience prouve que pendant ces diverses actions il ne se dégage aucun gaz; il suffit pour cela de ne pas fermer le tube et de le recouvrir d'un autre qui est renversé, rempli également d'une dissolution de nitrate de cuivre; quelle que soit la durée de l'expérience, il ne se dégage aucun gaz dans la partie supérieure. Il paraît que l'oxigène qui provient de la réduction du deutoxide du nitrate en protoxide, se porte sur la partie inférieure de la lame, qui est le pôle positif, afin de l'oxider, pour qu'elle puisse se combiner avec l'acide qui y est attiré aussi par l'action du courant. Mais comme il y a formation d'ammoniaque, il faut encore qu'une portion de l'eau et de l'acide soit décomposée, afin d'avoir de l'hydrogène et de l'azote; quant à l'oxigène, il oxide la partie inférieure de la lame. Les décompositions se font dans des proportions telles, que tous les éléments qui en pro-

viennent sont employés à former de nouveaux composés. Ainsi le cuivre ne décompose que les quantités d'eau et d'acide nécessaires pour que l'hydrogène et l'azote soient dans des rapports voulus pour former de l'ammoniaque. Voilà un exemple de décomposition électro-chimique en proportions définies que nous avons fait connaître il y déja plusieurs années:

Le deutoxide, par son action sur la dissolution du nitrate, est tellement la cause du courant électrique qui s'établit dans le système, que l'on peut produire le même effet en mettant les choses dans le même état où elles sont après cette action. On prend deux capsules de porcelaine, dont l'une est remplie d'une dissolution saturée de nitrate de cuivre, et l'autre de la même dissolution étendue d'eau; la communication est établie entre elles avec une mèche de coton. On plonge dans chacune le bout d'une lame de cuivre, Cet appareil revient à celui du tube, quand le deutoxide de cuivre a commencé à s'emparer d'une partie de l'acide du nitrate, puisque, dans l'un et l'autre cas, les deux bouts de la lame sont plongés dans deux dissolutions de nitrate de cuivre à différents degrés de concentration; or, comme dans ces deux cas les effets électriques sont les mêmes, l'explication que nous avons donnée est donc exacte. Les faits précédents nous donnent les moyens de modifier à volonté l'intensité des petites piles qui servent à faire naître des affinités dans les corps. En effet, une lame de cuivre qui plonge dans deux dissolutions de nitrate de cuivre, dont l'une est saturée et l'autre ne l'est pas, constituent une pile : il s'ensuit qu'en étendant plus ou moins d'eau la dissolution qui n'est pas saturée, on aura des actions électro-chimiques plus ou moins énergiques; de plus, comme on peut l'étendre progressivement, ces actions augmenteront ou diminueront dans la même proportion.

C'est par ce moyen qu'on pourra arriver à obtenir cristallisés les divers oxides d'un métal, et à distinguer des principes immédiats dans les composés organiques.

532. *Plomb.* Pour obtenir cristallisé le protoxide de plomb, on prend un tube de verre, de quelques millimètres de diamètre, fermé par un bout, et l'on met au fond de la litharge pulvérisée, environ un centimètre de haut; on verse dessus une solution peu étendue de sous-acétate de plomb, et l'on plonge dedans une lame de plomb, qui se trouve également en contact avec la litharge. Le tube est ensuite fermé hermétiquement. Peu à peu la surface de la lame se recouvre de petites aiguilles prismatiques d'hydrate de plomb; quelquefois on aperçoit du plomb réduit; enfin, mais plus rarement, il se dépose des cristaux dodécaèdres à faces pentagonales, très-limpides, de protoxide, qui, au contact de l'air, perdent leur transparence. Nul doute que ces produits ne soient le résultat de la décomposition du sous-acétate de plomb, par suite d'actions analogues à celles qui ont lieu pendant la production du protoxide de cuivre.

533. *Zinc.* La surface de ce métal se recouvre ordinairement, au contact de l'air, d'une couche très-mince de sous-oxide qui s'oppose aux réactions électro-chimiques. Ce composé se dissout lentement dans les acides, et c'est à sa présence que l'on doit rapporter la faible intensité des courants produits par une pile qui est chargée avec une solution non acide.

Voici un procédé très-simple pour obtenir cristallisé l'oxide de zinc : on prend deux petits flacons, dont l'un renferme une dissolution de zinc dans la potasse, et l'autre une solution de nitrate de cuivre; on établit la communication entre elles au moyen d'un tube recourbé rempli d'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse. Une lame de plomb, communiquant avec le pôle positif d'une pile composée de deux ou trois éléments, plonge dans la dissolution de zinc, et une lame de cuivre, en communication avec le pôle négatif, dans la solution de nitrate de cuivre. On peut même se dispenser d'employer une pile, il suffit seulement de mettre en communication métallique la lame de plomb et la lame de cuivre.

Le nitrate de cuivre est décomposé, par suite de l'action du courant provenant de la réaction de l'alcali sur le plomb; l'oxigène et l'acide nitrique sont transportés sur la lame de plomb, et donnent naissance à du nitrate de potasse et à de l'oxide de plomb qui se dissout dans l'alcali. Après quelques jours d'expérience, il se dépose sur la lame de plomb des petits cristaux limpides ayant la forme de prismes aplatis disposés en rose. Ces cristaux se forment pendant la précipitation lente de l'oxide de zinc par l'oxide de plomb, qui sature peu à peu la solution de potasse. Au contact de l'air, ils deviennent peu à peu translucides. Exposés à l'action de la chaleur, ils se colorent en jaune sans se fondre, et redeviennent blancs par le refroidissement, propriété que caractérise l'oxide de zinc. Traités par l'acide acétique, ils ont donné un acétate de zinc qui précipite en blanc par le sulfure de potasse; preuve que ces cristaux ne renfermaient pas de plomb.

En employant une lame de zinc au lieu d'une lame de plomb, il se dépose seulement une substance blanche, qui est une combinaison de zinc et de potasse.

Si l'on continue à laisser fonctionner la pile avec la lame de plomb, il se précipite une poudre jaune, qui est probablement une combinaison de protoxide anhydre du plomb avec la potasse.

Si l'on substitue à la lame de zinc une lame de cuivre ou de platine, ou d'un métal peu oxidable, il se dépose dessus du tritoxide de plomb, en couches très-simples qui se détachent avec facilité, et qui a toutes les propriétés de l'oxide puce. Nous aurons l'occasion de revenir sur ce composé dans un autre chapitre.

534. *Chaux*. On sait que la dissolution d'hydrate de chaux dans l'eau se couvre à l'air d'une pellicule de carbonate de chaux, et que si l'on évapore cette dissolution jusqu'à moitié dans une cornue et qu'on la laisse refroidir lentement, la terre cristallise en petites aiguilles. M. Gay-Lussac a trouvé que lorsque l'évaporation a lieu dans le vide, l'hydrate de chaux cristal-

lise en hexaèdres réguliers. Rien n'est plus facile d'obtenir avec la pile les mêmes cristaux, sans opérer dans le vide; il suffit de verser dans les deux branches du tube en U, rempli dans sa partie inférieure d'argile humide, de l'eau de Seine qui renferme une certaine quantité de sulfate de chaux, et de plonger dans chaque branche une lame de platine en communication avec une pile d'une quinzaine d'éléments. Non-seulement l'eau est décomposée, mais encore le sulfate de chaux. L'eau qui se trouve dans la branche négative donne la réaction alcaline, ce qui annonce que la chaux s'y trouve en dissolution. Comme l'opération n'est pas interrompue, il arrive un certain instant où la cristallisation de l'hydrate de chaux s'effectue. Si le sel à base de chaux était plus abondant, la quantité de chaux qui arriverait dans le tube négatif ne pourrait que nuire au groupement régulier des molécules. Nul doute que l'on ne puisse obtenir cristallisés, par ce procédé, plusieurs oxides hydratés alcalins et terreux.

§ III. *Action de l'hydrogène sur différents corps servant de conducteurs négatifs; formation des chlorures métalliques.*

535. Quand l'hydrogène arrive au pôle négatif, il contribue ordinairement à la réduction de l'oxide en formant momentanément de l'eau avec l'oxigène de cet oxide, laquelle est décomposée ensuite par l'action du courant. S'il y trouve des éléments avec lesquels il puisse se combiner, nul doute que la combinaison ne s'effectue, puisque le gaz se trouve à l'état naissant. Nous allons passer en revue quelques observations de ce genre.

On ne connaît pas en chimie de combinaison d'or et d'hydrogène; cependant Ritter a avancé qu'en décomposant l'eau avec des fils d'or, il se formait au pôle négatif un hydrure de ce métal. Nous mentionnons ce résultat sans en garantir l'exactitude.

On a prétendu aussi qu'on pouvait combiner l'argent

avec l'hydrogène par le même moyen; mais le fait n'est point encore prouvé.

On a avancé également que le bismuth se combinait avec l'hydrogène, quand ce métal servait de conducteur négatif pour décomposer l'eau. Dans cette circonstance, le métal se noircit et se recouvre de dendrites noires.

Ritter a également avancé que si, pour décomposer l'eau, on se sert d'un fragment de tellure pour conducteur négatif, l'hydrogène qui s'y rend se combine en entier avec le métal et produit une poudre brune, d'hydrure de tellure; mais M. Magnus, qui a examiné ce produit, a reconnu qu'il était composé de tellure dans son plus grand état de division.

536. L'hydrogène et le carbone, qui se combinent en diverses proportions lorsque ces deux corps se trouvent à l'état naissant, puisque toutes les substances animales et végétales en décomposition laissent dégager du gaz hydrogène carboné, doivent pouvoir se combiner aussi au pôle négatif de la pile. Cette propriété est d'une grande importance en électro-chimie, surtout quand il s'agit d'enlever le carbone à un corps. Les expériences suivantes serviront à montrer le parti que l'on peut tirer de l'anthracite, c'est-à-dire du charbon presque pur et du charbon ordinaire, dans les recherches qui nous occupent.

Quand on plonge dans un acide, en contact avec un métal, un morceau d'anthracite ou de charbon, il en résulte un courant dont le sens et l'intensité dépendent des actions chimiques exercées par le liquide sur le charbon et le métal. Fixons, par exemple, un morceau de charbon, privé de tous corps étrangers, à l'un des bouts d'un fil de platine en communication avec un multiplicateur, et plongeons-le dans de l'acide nitrique communiquant aussi avec le multiplicateur au moyen d'un autre fil de platine. On a alors un courant qui va du charbon à l'acide; ce résultat nous annonce que le charbon a été attaqué par l'acide.

Un couple carbone et cuivre plongé dans l'acide hydro-chlorique détermine un courant qui va du cuivre au carbone par suite de l'action lente de l'acide sur le métal. Un couple carbone et argent se comporte de même : on déduit de là un procédé très-simple pour former les chlorures d'argent et de cuivre. Dans un tube de verre fermé par un bout, on verse de l'acide hydro-chlorique concentré, et l'on plonge dedans une lame d'argent fixée avec un fil de même métal à un morceau d'anthracite ou de charbon, puis l'on ferme le tube, en laissant seulement une très-petite ouverture pour donner issue aux gaz qui se dégagent dans la réaction des corps. Voici ce qui se passe : l'argent étant le pôle positif de la petite pile, attire le chlore et se combine avec lui, tandis que l'hydrogène se porte sur le carbone, avec lequel il forme une combinaison gazeuse qui se dégage ; quand le tube est fermé hermétiquement, la tension que le gaz acquiert ne tarde pas à le faire éclater. Le chlorure d'argent formé se dissout, et quand l'acide est saturé, ce composé cristallise en jolis octaèdres translucides d'un à deux millimètres de côté. Si l'on substitue une lame de cuivre à la lame d'argent, la réaction chimique produit des effets électriques qui augmentent l'énergie des affinités ; l'acide hydro-chlorique est décomposé, il y a dégagement d'hydrogène carboné, puis, six mois, un an après, la lame se recouvre de beaux cristaux tétraèdres de proto-chlorure de cuivre très-brillants, possédant une grande réfrangibilité ; si l'on continue l'expérience sans le contact de l'air, la liqueur change de couleur, devient brun foncé, et les cristaux ne sont plus visibles. Le carbone est alors fortement attaqué, et il en résulte une combinaison qui n'a pas encore été examinée.

§ IV. *De l'action de la pile sur les sulfures alcalins.*

537. Lorsqu'une solution de proto-sulfure de potassium ou de sodium est exposée à l'air, le métal et le soufre

s'oxident simultanément; il en résulte de l'hypo-sulfite, dans lequel l'acide et la base renferment une quantité égale d'oxigène; les dissolutions des autres sulfures éprouvent d'autres changements; tant que la dissolution conserve une teinte jaune, il ne se forme que de l'hypo-sulfite; mais, dès l'instant que le soufre se précipite, ce sel se change en sulfite, puis en sulfate.

La solution alcoolique du sulfure alcalin donne naissance aussi, au contact de l'air, à de l'hypo-sulfite de potasse, qui cristallise à la surface du liquide en même temps que le soufre dissous par l'alcool est abandonné. Les autres sulfures alcalins se comportent de même.

Quant aux sulfures de barium et de strontium, leurs dissolutions éprouvent à l'air des changements qui sont un peu différents; il n'y a pas formation d'hypo-sulfite, mais bien d'hypo-sulfate.

Quand la solution d'un des sulfures précédents est soumise dans l'une des branches du tube en U, l'autre renfermant de l'eau, à l'action du pôle positif d'une pile composée d'un petit nombre d'éléments, par l'intermédiaire de lames de platine, l'eau communiquant avec le pôle négatif, elle éprouve des changements semblables à ceux qui ont lieu dans l'air. En effet, la dissolution dans l'eau du proto-sulfure de potassium ou de sodium éprouve d'abord de la part du pôle positif les effets ordinaires, c'est-à-dire qu'une portion est décomposée, et qu'il y a transport de potasse ou de soude dans le tube négatif, tandis que le soufre mis à nu, de l'autre côté, se combine avec une portion de l'oxigène dégagée, qui le transforme successivement en acide hypo-sulfureux, en acide sulfureux et en acide sulfurique, lequel se combine avec la base, car, après quelques jours d'expérience, on ne retrouve plus que du sulfate; en continuant l'opération, ce dernier sel subit lui-même l'action décomposante de la pile. Même phénomène dans la dissolution de persulfure, seulement il y a précipitation de soufre.

La dissolution alcoolique du proto-sulfure ne produit aucun phénomène particulier; quant à celle du persul-

fure, il y a, outre la formation du sulfate, un dépôt sur la lame de platine de jolis cristaux de soufre, très-réguliers, dont on peut accroître les dimensions en changeant la solution quand elle n'est plus saturée. La cristallisation parfaite du soufre est due en partie à la propriété dont jouit l'alcool de dissoudre une certaine quantité de soufre.

538. Les solutions du sulfure de barium et de strontium, exposées comme les précédentes à l'action du pôle positif, donnent dans les premiers instants un dépôt de soufre et des prismes quadrilatères presque droits, inaltérables à l'air, d'hypo-sulfate de baryte ou de strontium. En continuant l'opération, ces mêmes cristaux sont décomposés.

La tendance qu'éprouvent les proto-sulfures de barium et de strontium à se changer en hypo-sulfates est telle, que lorsqu'on substitue une lame de plomb ou une lame de cuivre à la lame de platine, on a encore un hypo-sulfate, et seulement une petite quantité de sulfure de plomb ou de cuivre sur les lames.

Si l'on opère avec une solution de persulfure de barium, il y a précipitation de soufre sous forme de petits tubercules, et formation d'hypo-sulfate; il semble que dans le proto-sulfure, le soufre et le barium soient dans des proportions voulues pour que l'oxigène provenant de la décomposition de l'eau, et qui est transporté au pôle positif, se partage entre les deux éléments, de manière à former l'hypo-sulfate. Tout le soufre excédant dans le persulfure ne pouvant entrer dans la combinaison, est nécessairement abandonné, et comme il joue le rôle d'élément électro-négatif, il se porte naturellement au pôle positif.

On sent parfaitement que toutes les actions chimiques qui donnent naissance à tous ces composés, ne peuvent naître que sous certaines influences électriques peu énergiques; car si l'on opère avec des appareils dont l'action soit trop forte on isole tous les éléments, et aucune combinaison n'est possible; l'art consiste donc

à disposer les appareils de manière à empêcher les transports de certains éléments, pour forcer ceux-ci à se combiner avec d'autres éléments que l'on parvient à y transporter par les courants. Cette nouvelle manière d'opérer les combinaisons est féconde en applications, et nous présage des résultats importants pour la chimie.

539. Dans les expériences précédentes, le sulfure était soumis à l'action du pôle positif; voyons ce qui arrive quand il est en relation avec le pôle négatif. Prenons le sulfure de barium; dans ce cas, l'hydrogène exerce une réaction sur ce composé, d'où résulte un sulfo-hydrate de baryte, comme on peut s'en assurer en essayant la solution.

Si l'on veut obtenir cette substance cristallisée, on ajoute à la solution moitié d'alcool; comme elle n'est pas soluble dans ce dernier liquide, elle cristallise en grande partie sur la lame de platine à mesure qu'elle se forme; en faisant dissoudre les cristaux, on retrouve tous les caractères qui conviennent au sulfo-hydrate de baryte.

§ V. *Des doubles chlorures, doubles iodures, doubles bromures, doubles sulfures, doubles cyanures, etc.*

540. En employant les principes que nous venons d'exposer, on conçoit qu'il soit possible d'obtenir cristallisées des doubles combinaisons insolubles, que la chimie ordinaire parviendrait difficilement à effectuer, à cause de l'impossibilité où elle se trouve d'opérer lentement, et d'enlever à volonté à un composé, tel ou tel élément, ou de lui en fournir d'autres. Occupons-nous d'abord des oxi-chlorures.

On prend un tube recourbé en U, rempli, dans sa partie intérieure, d'argile humectée d'eau; l'on met dans une des branches du nitrate de cuivre, dans l'autre une solution du chlorure que l'on veut soumettre à l'expérience, du chlorure de sodium par exemple; puis l'on plonge dans chacune d'elles le bout d'une lame de métal, tel que le cuivre, et l'on ferme les deux ouver-

tures avec des bouchons. Bientôt après, par suite de la réaction des deux solutions l'une sur l'autre et de la solution du chlorure sur le cuivre, le bout qui est plongé dans la solution du nitrate devient le pôle négatif d'un petit appareil voltaïque et se recouvre de cuivre à l'état métallique; l'acide nitrique et l'oxigène sont transportés dans la branche positive, où ils concourent l'un et l'autre à des réactions chimiques que nous allons décrire. La lame de cuivre qui se trouve dans cette branche, tend avant tout à décomposer le chlorure; mais, en raison de l'action voltaïque, elle s'oxide aux dépens de l'oxigène qui est transporté; l'oxide de cuivre qui est formé se combine immédiatement avec du chlorure de cuivre et du chlorure de sodium; d'où résulte un oxi-chlorure de cuivre et de sodium. Peu à peu cette combinaison cristallise sur la lame positive en jolis cristaux tétraèdres. Si l'on veut avoir des cristaux de 2 à 3 millimètres de grosseur, il faut que l'appareil fonctionne pendant une année au moins. Le succès de l'expérience dépend de l'obstacle que l'on oppose au mélange des liquides contenus dans les tubes, sans nuire au transport de l'oxigène vers le pôle positif. L'acide nitrique contribue non seulement à oxider le cuivre, mais encore à décomposer le sel marin, puisque l'on retrouve du nitrate de soude dans la solution.

Nous avons dit que cette combinaison ne s'opère qu'autant que le bout qui est dans la solution de sel marin s'oxide lentement; car elle n'a pas lieu quand on emploie un courant électrique intense. Le meilleur moyen d'oxider un métal, dans les recherches électro-chimiques, est de disposer les appareils pour s'emparer de l'oxigène provenant de la réduction d'un oxide.

Ce double oxi-chlorure, privé du contact de l'air, est inaltérable; mais dès l'instant qu'il est en contact avec l'eau, il se décompose, le chlorure de sodium se dissout et l'oxi-chlorure se précipite. Il était essentiel d'analyser ce dernier produit pour en connaître la nature; nous l'avons fait de la manière suivante : nous

avons pris 2 grammes de ce précipité; après l'avoir bien lavé, nous l'avons traité à chaud, par une dissolution de sous-carbonate de soude. Le précipité, lavé et séché, nous a donné 2 grammes de carbonate de cuivre, composés de 1,70 d'oxide de cuivre et de 0,94 d'acide carbonique; par conséquent, l'oxi-chlorure renfermait 1,70 d'oxide de cuivre et 0,30 d'acide hydro-chlorique, ce qui représente sensiblement 2 atomes d'oxide de cuivre et 1 atome d'acide hydro-chlorique. Nous avons saturé ensuite la dissolution par de l'acide sulfurique, puis nous avons fait cristalliser; les cristaux de chlorure et de sodium ont fourni la quantité de chlore contenue dans la substance soumise à l'expérience.

Les chlorures d'ammoniaque, de calcium, de potassium, de barium, de strontium, de magnésium, donnent avec le cuivre des produits analogues, qui cristallisent de même en tétraèdres réguliers; tous sont isomorphes.

L'argent avec les mêmes chlorures, ainsi que le plomb, donnent également des combinaisons isomorphes semblables aux précédentes. Le double chlorure de potassium et d'étain cristallise en aiguilles prismatiques; ce qui est naturel, puisque le chlorure d'étain n'a pas la même composition atomique que les chlorures terreux ou alcalins.

541. Nous devons mentionner ici une observation relative aux changements qui s'opèrent quelquefois dans la cristallisation des doubles chlorures. Dans les premiers temps, le cristal est complet; mais quand l'appareil fonctionne depuis long-temps, il se forme peu à peu des troncatures sur les angles; il semble résulter de là que lorsque les particules de la substance qui cristallise sont moins abondantes, la force qui détermine le groupement régulier de ces particules n'a plus assez d'énergie pour compléter le cristal. Nous avons eu occasion de faire la même remarque dans plusieurs cristallisations de produits formés à l'aide de forces électriques provenant d'un seul couple.

En se servant du même appareil, on peut former les

doubles sulfures, les doubles iodures, les doubles bromures, etc., sur lesquels nous allons donner quelques développements en traitant seulement des iodures et des sulfures métalliques.

§ VI. *Des sulfures métalliques cristallisés.*

542. La chimie n'a pu obtenir jusqu'ici, par la voie humide, les sulfures métalliques sous forme régulière; mais on peut y parvenir en joignant l'action des affinités à celle des forces électriques, et en disposant les appareils pour qu'ils puissent fonctionner lentement et pendant long-temps. Nous allons passer successivement en revue les sulfures que nous avons préparés.

543. *Sulfure d'argent.* On verse dans l'une des branches du tube en U une solution saturée de nitrate d'argent, et dans l'autre une solution d'hypo-sulfite de potasse, obtenue par la décomposition à l'air du proto-sulfure de potassium; puis l'on plonge, dans chacune d'elles, l'un des bouts d'un fil ou d'une lame d'argent pur. Il résulte de la réaction des deux solutions l'une sur l'autre et de l'hypo-sulfite sur la lame d'argent, des effets électriques par suite desquels la lame qui se trouve dans le nitrate est le pôle négatif d'un appareil voltaïque. Peu à peu le nitrate d'argent est décomposé, la lame qui s'y trouve se recouvre d'argent à l'état métallique, tandis que l'oxigène et l'acide nitrique se rendent dans l'autre branche, où ils concourent à la formation d'un double hypo-sulfite d'argent et de potasse, qui cristallise en beaux prismes; mais l'oxigène et l'acide continuant à arriver, réagissent sur cette combinaison et l'hypo-sulfite de potasse; il se forme du sulfate et du nitrate de potasse, et du sulfure d'argent, qui reste intact tant que l'acide nitrique n'est pas en quantité suffisante pour réagir sur lui. La formation du sulfate et du nitrate de potasse est facile à expliquer; mais il n'en est pas de même de celle du sulfure. Voyons les circonstances qui l'accompagnent. A mesure que le liquide s'évapore dans la bran-

che positive, on voit se former au fond du tube, au-dessus de l'argile et sur la lame d'argent, des jolis cristaux octaèdres de sulfure d'argent.

Ces cristaux ont le même aspect que ceux de la même substance que l'on trouve dans les mines d'argent; comme eux ils s'étendent légèrement sous le marteau; leur couleur est gris de plomb, et leur surface extérieure est terne. La ressemblance est telle, que les cristaux artificiels ne peuvent être en rien distingués des cristaux naturels.

Pourquoi obtient-on un sulfure d'argent au lieu d'un hypo-sulfite, d'un sulfite ou même d'un sulfate, par suite de la réaction de l'oxigène et de l'acide nitrique sur le double hypo-sulfite? On ne peut répondre à cette question, qu'en supposant que le pôle positif réagisse sur l'oxide d'argent et l'acide hypo-sulfureux, pour les désoxider; dès lors l'argent et le soufre se trouvant à l'état naissant, obéissent à leurs affinités réciproques. Ces effets s'opérant lentement, rien ne s'oppose au groupement régulier des particules du sulfure d'argent. On n'obtient rien de semblable avec une solution de sulfure de potassium. Dans ce cas, les résultats de l'expérience sont du sulfate de potasse et du sulfate d'argent. L'influence des proportions et l'énergie de l'action en sont très-probablement la cause.

544. *Sulfure de cuivre.* Appliquons les principes précédents à la formation d'autres sulfures, d'abord à celle du sulfure de cuivre. Remplaçons la solution de nitrate d'argent par une solution de nitrate de cuivre, et la lame d'argent par une lame de cuivre : il ne tarde pas à se former, dans le tube où se trouve l'hypo-sulfite de potasse, un double hypo-sulfite de cuivre et de potassium qui cristallise en aiguilles soyeuses très-fines. Peu à peu ce double hypo-sulfite se décompose, et l'on finit par obtenir sur la lame de cuivre des cristaux aplatis, opaques, à faces triangulaires, de 2 millimètres de longueur.

Ces cristaux sont d'un gris métallique, et quelques-

uns présentent des reflets bleuâtres ; leur poussière est noirâtre. Ils se dissolvent dans l'ammoniaque, qu'ils colorent en bleu, et il est facile de reconnaître qu'ils ne sont composés que de soufre et de cuivre. On n'a pu recueillir jusqu'ici assez de ce sulfure pour déterminer les quantités relatives de métal et de soufre.

545. *Oxi-sulfure d'antimoine.* Pour préparer le kermès, on se sert des mêmes liquides que dans l'expérience précédente, et l'on établit la communication entre les deux tubes, au moyen d'un arc composé de deux lames, l'une de cuivre et l'autre d'antimoine; la lame de cuivre plongeant dans le nitrate et la lame d'antimoine dans l'hypo-sulfite. La première se recouvre de cuivre provenant de la décomposition du nitrate, tandis que l'autre, ainsi que les parois du tube, se recouvrent d'un précipité brun rouge. Quelque temps après, il se forme sur l'antimoine de petits cristaux octaèdres rouges, et des lames cristallisées de même nature que le précipité. Ces cristaux sont solubles dans l'hydro-sulfate neutre de potasse, et laissent dégager de l'hydrogène sulfuré par l'action de l'acide hydro-chlorique dans lequel ils se dissolvent. Les alcalis les rendent jaunes. Tous ces caractères appartiennent à l'oxi-sulfure d'antimoine. La théorie de sa formation est la même que celle du sulfure d'argent, ainsi nous ne nous y arrêterons pas.

546. *Sulfure d'étain.* Il est possible d'obtenir le sulfure d'étain en très-petits cristaux ayant le brillant métallique; mais l'expérience ne réussit qu'autant que l'action électro-chimique est très-faible. Cette opération est difficile à conduire.

547. *Sulfure de plomb ou galène.* On obtient également ce composé en jolis cristaux tétraèdres réguliers, mais en suivant une autre méthode que celle dont nous avons fait usage plus haut. On prend un tube fermé par un bout, d'un décimètre de long et de 5 à 6 millimètres de diamètre. Dans la partie inférieure on met du sulfure de mercure noir, environ deux ou trois centimètres de hauteur. On verse dessus une solution de

chlorure de magnésium ; puis l'on plonge dans le liquide, jusqu'au fond du tube, une lame de plomb. L'appareil ayant été fermé hermétiquement, est abandonné ensuite aux réactions électro-chimiques. Un mois, six semaines après, on commence à apercevoir sur la paroi du tube, au-dessus du sulfure, une couche très-mince d'un précipité brillant, d'un gris métallique, qui s'en détache facilement et se recouvre peu à peu de petits cristaux qui, vus au microscope, paraissent être des octaèdres réguliers ayant le même aspect que ceux de la galène. En ouvrant le tube, il s'en dégage un gaz qui répand l'odeur propre aux combinaisons du soufre avec le chlore et l'hydrogène. En essayant la liqueur avec un acide, il s'en dégage de l'acide sulfureux. La partie inférieure de la lame de plomb est devenue cassante par suite de la combinaison du plomb avec le mercure. Pour expliquer ces différents résultats, il faut se rappeler que lorsque le plomb est en contact avec un chlorure alcalin ou terreux, tel que celui de magnésium, il se forme un double chlorure, et de la magnésie est mise à nu. Par suite de cette réaction, le plomb devient négatif et la solution positive; la circulation du fluide électrique s'opère alors par l'intermédiaire de la couche infiniment mince du liquide qui adhère à la paroi du verre (propriété sur laquelle nous reviendrons plus tard). Dans la même circonstance le sulfure de mercure se dissolvant dans le chlorure se trouve soumis à l'action de la petite pile; le plomb, qui est le pôle négatif, attire le mercure, et le soufre se porte sur le double chlorure de plomb et de magnésium. Une portion du soufre se combine avec le plomb, d'où résulte un sulfure de plomb qui cristallise, sans aucune trace de mercure, tandis que l'autre portion se combine avec le chlorure de magnésium et le chlore qui était combiné avec le plomb, ce qui donne un sulfo-chlorure de magnésium et un chlorure de soufre.

En continuant l'opération pendant plusieurs mois, la liqueur dans la partie adjacente au sulfure de mercure

prend une teinte rougeâtre, qui est probablement due à la présence du chlorure de soufre. Nous devons faire observer que l'on ne trouve aucune trace de plomb dans la liqueur. C'est une preuve qu'il est précipité aussitôt qu'il est dissous.

L'action qui détermine la formation du sulfure de plomb étant très-complexe, il serait difficile, sans avoir fait l'analyse de la liqueur, de dire comment s'effectuent en proportions définies les diverses décompositions et combinaisons dont nous venons de parler.

548. *Sulfure de fer et de zinc.* Ces composés sont très-difficiles à former par les procédés que nous avons décrits, en raison de leur altérabilité au contact de l'air et de l'eau. Nous sommes parvenus néanmoins à obtenir le premier, avec l'hypo-sulfite alcalin, en petits cristaux jaunes, d'un éclat brillant, lesquels se sont décomposés rapidement au contact de l'air. Quant au sulfure de zinc, nous n'avons pu l'avoir encore cristallisé.

Nous ferons connaître, dans le quatrième volume, une méthode à l'aide de laquelle on parvient à former le persulfure du fer en cristaux dodécaèdres, à faces pentagonales.

549. *Sulfure de cadmium.* On obtient le sulfure jaune orangé, sous forme cristalline, en employant le deuxième procédé, celui qui donne le sulfure de plomb.

550. Des faits exposés dans ce chapitre, nous pouvons conclure que, pour obtenir cristallisée une substance insoluble, par des réactions électro-chimiques, il suffit de la faire entrer en combinaison avec une autre qui soit soluble, et d'opérer ensuite une décomposition très-lente. On peut arriver au même but, mais avec beaucoup plus de difficultés, par les moyens ordinaires de la chimie, comme le prouve l'observation suivante :

De l'argile très-divisée et humectée d'une solution d'arséniate de potasse, ayant été mise dans un tube de verre, on a versé dessus une solution de nitrate de cuivre ; la réaction des deux solutions eut lieu rapidement dans les premiers instants, à la surface du contact de

l'argile et de la solution de nitrate. Mais peu à peu celle-ci ayant pénétré dans la masse de l'argile, il en est résulté une réaction très-lente entre l'arséniate et le nitrate; circonstance favorable à la cristallisation de l'arséniate de cuivre. Au bout de quelque temps, on a fini par apercevoir dans quelques parties vides de l'argile, des cristaux semblables à ceux de l'arséniate de cuivre de la nature.

551. La formation des doubles sulfures et des sulfures simples étant soumise à certaines lois, il ne faut pas donner aux tubes des dimensions quelconques, et employer des liquides dont la conductibilité électrique soit trop considérable. Car s'il se formait, par exemple, une trop grande quantité de double hypo-sulfate pour être décomposée complétement par l'acide qui vient du tube, où se trouvent le nitrate de cuivre et le nitrate d'argent, l'opération serait incomplète, vu que l'on n'aurait pas alors les réactions nécessaires pour la production des composés que l'on veut former. Ainsi, suivant que les circonstances auront été plus ou moins favorables, on aura une cristallisation parfaite, une cristallisation confuse, ou absence de cristallisation et même de production de double sulfure. On doit toujours prendre des tubes à petite dimension, c'est-à-dire de deux ou trois millimètres; car si l'acide arrivait en trop grande quantité dans le tube où se trouve la double combinaison, il réagirait sur chacun des composants, et l'on n'aurait pas le résultat attendu. Il ne faut pas oublier que l'hypo-sulfite, dont nous avons fait usage, provenait de la décomposition à l'air d'un proto-sulfure de potassium.

§ VII. *Des Iodures métalliques.*

552. On sait que les iodurues métalliques sont soumis à la même loi de composition que les sulfures : on doit donc se procurer les iodures insolubles par le même procédé que celui qui a servi pour les sulfures : ce n'est là qu'une généralisation du principe.

Iodure de plomb. On substitue, dans l'appareil électro-chimique, l'iodure de potassium ou de soude à l'hypo-sulfite alcalin; puis on plonge dans la branche du tube en U, où se trouve la solution de nitrate de cuivre, une lame de cuivre, et dans l'autre, qui contient une solution d'iodure de potassium, une lame de plomb; on obtient d'abord dans celle-ci un double iodure de plomb et de potassium, qui cristallise en aiguilles blanches soyeuses très-fines; peu à peu cette combinaison se décompose, en commençant par la partie inférieure contiguë à l'argile; puis l'on aperçoit un grand nombre de cristaux, dérivant de l'octaèdre régulier, d'un jaune d'or et d'un aspect brillant qui appartiennent à l'iodure de plomb.

553. Le cuivre, soumis au même mode d'action, donne d'abord un double iodure en aiguilles blanches cristallisées, puis l'on obtient, après la décomposition, de jolis cristaux octaèdres. L'iodure d'argent s'obtient aussi facilement.

Il est probable que les autres métaux, dont les iodures sont insolubles, avec des précautions convenables, donneraient des résultats semblables. Les bromures, les séléniures insolubles peuvent sans doute être obtenus par le même procédé. Nous nous bornons à en faire mention ici, parce que leur formation découle d'un principe général que nous avons suffisamment développé dans ce chapitre, pour ne pas devoir entrer dans de nouveaux détails à cet égard.

CHAPITRE XIV.

EXPOSÉ D'UNE MÉTHODE GÉNÉRALE POUR OBTENIR CRISTALLISÉS LE SOUFRE, LE SULFATE ET LE CARBONATE DE BARYTE.

§ 1er. *Principe employé pour la formation de ces composés.*

554. Nous avons déja montré que lorsqu'un corps, quand il est transporté par un courant, rencontre un autre corps, avec lequel il forme un composé insoluble, la combinaison a lieu et le précipité s'effectue aussitôt. Mais nous n'avons encore rien dit de ce qui se passe quand un acide rencontre un sel dont la base a plus d'affinité pour lui que pour l'acide avec lequel elle est combinée : l'expérience suivante va nous dire ce qui se passe dans cette circonstance.

Un tube de verre, de plusieurs millimètres de diamètre, ouvert par les deux bouts et contenant dans sa partie inférieure de l'argile très-fine, humectée d'une solution de nitrate de potasse, et dans sa partie supérieure, de l'alcool ordinaire, est placé dans un autre tube, rempli d'une solution de sulfate de cuivre; puis l'on établit extérieurement la communication entre les deux liquides, au moyen d'un arc composé de deux lames de cuivre et plomb soudées bout à bout, le côté cuivre plongeant dans le sulfate, et le côté plomb dans l'alcool. Le

sulfate de cuivre ne tarde pas à être décomposé par suite des effets électriques qui résultent de la réaction des deux liquides l'un sur l'autre et de l'alcool sur le plomb. Le cuivre du sulfate se réduit sur la lame de même métal, qui est le pôle négatif; l'oxigène et l'acide sulfurique se transportent du côté où se trouve la lame de plomb; mais au lieu d'obtenir du sulfate de plomb, il se forme en peu de jours une grande quantité de cristaux octaèdres de nitrate de plomb. Ce fait prouve évidemment que l'acide sulfurique, en traversant l'argile imprégnée de nitrate de potasse, a décomposé ce sel, s'est combiné avec la potasse en raison d'une plus grande affinité pour cette base que n'en a l'acide nitrique. Ce dernier acide devenu libre s'est rendu au pôle positif, où il s'est combiné avec l'oxide de plomb, formé en grande partie aux dépens de l'oxigène du cuivre. Il en est résulté du nitrate de plomb qui a cristallisé à mesure que l'alcool en a été saturé. Avec une action voltaïque plus forte, le sulfate de potasse aurait été décomposé; cet exemple nous montre combien sont précieux les faibles courants électriques pour opérer des combinaisons. Dans le cas que nous considérons, le nitrate de potasse a été décomposé par le concours des forces électriques et des affinités.

555. Appliquons maintenant le principe précédent à la décomposition du sulfo-carbonate de potasse et à la formation de quelques composés.

1re Expérience. Le sulfo-carbonate de potasse dont la solution, quand elle n'est pas très-concentrée, se décompose peu à peu à l'air, se trouve dans des circonstances favorables pour que des forces très-faibles apportent des changements dans l'état de combinaison de ses molécules. Voici comment on opère sur cette substance : on prend deux bocaux en verre; dans l'un on verse une solution de sulfate de cuivre, et dans l'autre une solution alcoolique de sulfo-carbonate de potasse; puis l'on établit la communication entre les deux liquides, d'une part, avec un tube de verre recourbé rempli d'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse,

et de l'autre, avec un arc métallique formé de deux lames, l'une de cuivre, l'autre de plomb; la lame de cuivre plongeant dans le sulfate, et celle de plomb dans le sulfo-carbonate. D'après la nature des effets électriques produits dans les diverses réactions chimiques, le plomb se trouve être le pôle positif d'une pile dont l'intensité est suffisante pour décomposer le sulfate : le cuivre se réduit; l'oxigène et l'acide sulfurique sont transportés vers le plomb; l'acide, dans son trajet, décompose le nitrate de potasse, comme dans l'expérience précédente, de sorte que l'oxigène et l'acide nitrique se rendent seuls dans le sulfo-carbonate; aussitôt qu'ils y pénètrent, ils commencent à réagir sur ses parties constituantes, et cette action persévère tant que la force du courant est supérieure aux affinités des divers corps qui sont en présence; le transport des molécules continue jusqu'à la lame positive où s'opère la dernière réaction. Il se forme successivement les produits suivants : du carbonate neutre de potasse qui cristallise sur les parois du vase, du sulfate de potasse, un sulfo-carbonate de plomb et de potasse en cristaux aciculaires; du carbonate et du sulfate de plomb en aiguilles; enfin, une partie de soufre, qui provient de la décomposition du sulfure de carbone et du sulfure de potasse, se porte sur la lame de plomb, qui est le pôle positif, et y cristallise en octaèdres à base rhomboïdale. Ces octaèdres acquièrent quelquefois un millimètre de longueur, après un mois d'expérience.

On obtient également du soufre cristallisé, en abandonnant à l'air une solution de cette substance dans le carbure de soufre ou en faisant fondre du soufre, laissant refroidir le liquide, jusqu'à ce qu'il se forme une croûte solide à la surface, que l'on brise pour décanter. Mais le procédé que nous avons fait connaître est différent des deux précédents, et a de l'analogie avec celui dont la nature fait usage dans quelques circonstances, par exemple, dans la décomposition lente du gaz hydrogène sulfuré et des matières fécales, qui déposent, avec le temps, des cristaux de soufre bien caractérisés. Dans

l'un et l'autre cas, la cristallisation est le résultat d'une action excessivement faible sur laquelle nous aurons l'occasion de revenir en traitant des actions spontanées.

Les produits auxquels donne lieu la décomposition du sulfo-carbonate de potasse varient suivant l'intensité du courant électrique et le degré de concentration de la dissolution. Avec une solution alcoolique de sulfo-carbonate, étendue d'eau, on obtient peu de soufre et une grande quantité de sulfo-carbonate de plomb et de potasse. Ces différences dans les résultats tiennent aux rapports qui existent entre les affinités des divers corps et les intensités du courant, qui varient suivant la conductibilité des liquides et l'énergie de l'action chimique qui produit le courant. Dans l'état actuel de la science, il est impossible de prévoir *à priori* ce qui doit arriver dans tel ou tel cas; c'est l'expérience seule qui peut nous l'apprendre.

Les sulfo-carbonates des autres bases, soumis au même mode d'expérience, nous ont donné des résultats analogues; c'est par leur décomposition lente, et en employant des métaux convenablement choisis au pôle positif, que nous sommes parvenus à obtenir en cristaux, dérivant de la forme primitive, le sulfate de baryte. Nous nous bornons à énoncer ici ce fait sur lequel nous reviendrons ailleurs, en traitant des sulfates insolubles et des circonstances de leur formation; au surplus, nous aurons encore l'occasion ci-après de reparler du sulfate de baryte.

556. Autre application. On remplit d'une solution de bicarbonate de soude un tube contenant, dans sa partie inférieure, de l'argile humectée par la même solution, et on le place dans un autre qui renferme une solution de sulfate de cuivre; puis l'on plonge dans chaque liquide l'une des extrémités d'une lame de cuivre; on observe les effets suivants : le bout qui est dans la solution de sulfate étant le pôle négatif, décompose ce sel, attire le cuivre, tandis que l'oxigène et l'acide sulfurique se portent de l'autre côté; mais l'acide sulfurique trouvant

sur son passage de l'acide carbonique, le chasse de la combinaison et prend sa place; alors l'acide carbonique forme avec l'oxide de cuivre un carbonate, lequel, en se combinant avec celui de soude, donne naissance à un double carbonate de cuivre et de potasse, qui cristallise en belles aiguilles d'un vert bleuâtre satiné. Cette substance, qui n'est pas soluble dans l'eau, se décompose à l'aide de la chaleur, le carbonate de soude se dissout, celui de cuivre se précipite, et devient brun comme le carbonate ordinaire traité par l'eau bouillante.

Dans les expériences précédentes, la propriété dont jouit l'acide sulfurique de chasser des acides qui ont moins d'affinité que lui pour les bases, n'a lieu qu'en raison du peu d'énergie de l'action de la pile; car si l'action était plus considérable, tous les acides indistinctement seraient transportés au pôle positif. Cette propriété est subordonnée néanmoins à certains phénomènes dont il sera question dans le chapitre suivant.

Le courant électrique dont nous nous sommes servis pour produire des décompositions, peut provenir de deux causes, de la réaction chimique l'un sur l'autre des deux liquides qui sont en contact, et de l'action chimique du liquide du petit tube sur le métal qui plonge dedans. Dans le premier cas, si la réaction est suffisamment énergique, on peut se passer de la seconde; de même si celle-ci a une intensité convenable, la première devient inutile; mais quand l'une et l'autre sont faibles, et que les courants qui en résultent sont dirigés dans le même sens, alors leur somme devient indispensable à la production des effets électro-chimiques. En général, toutes les fois que les deux courants cheminent dans le même sens, leur somme ne peut que favoriser les décompositions et la formation des produits. Il arrive souvent que ces deux courants sont si faibles que la réduction de l'oxide dans le grand tube ne saurait avoir lieu. Dès lors il n'y a aucun effet de produit. Si donc l'on n'aperçoit dans les appareils, au bout de quelques jours, aucune précipitation de cuivre

sur la lame de même métal qui plonge dans la solution du nitrate ou du sulfate, il devient inutile de pousser plus loin l'expérience; il faut alors changer l'appareil. Dans l'expérience où le grand tube renferme du sulfate de cuivre, et le second dans la partie inférieure de l'argile humectée d'une solution de nitrate de potasse, puis de l'alcool, la réaction chimique du nitrate sur le sulfate a exercé une grande influence sur la production du courant qui a décomposé le sulfate de cuivre, car l'alcool a dû exercer sur le plomb une action assez faible pour qu'il en résulte un courant électrique sensible. Il serait à désirer qu'on pût toujours opérer sur des solutions qui exerçassent les unes sur les autres des actions chimiques suffisamment énergiques pour développer des courants convenables quand la lame qui plonge dans le liquide est d'or ou de platine, afin de pouvoir étudier facilement les phénomènes de décomposition et de recomposition indépendamment de la réaction des oxides. Ce serait la seule marche à suivre pour découvrir ce qui se passe dans les composés organiques liquides, lorsqu'on y transporte, au moyen de l'électricité, des corps capables d'enlever quelques-unes de leurs parties constituantes. On peut suppléer à ce défaut de réaction suffisante des liquides, en opérant avec l'appareil dont nous allons donner la description, lequel permet d'éviter, quand on le veut, l'action des oxides métalliques qui se forment au pôle positif. Comme cet appareil permet d'opérer dans un grand nombre de cas, nous entrerons dans quelques détails sur sa construction et son usage.

557. On prend trois bocaux A, A', A'' (fig. 123), rangés sur la même ligne à peu de distance les uns des autres : le premier est rempli d'une solution de sulfate ou de nitrate de cuivre; le second, d'une solution de la substance sur les parties constituantes de laquelle on veut opérer des changements; et le troisième, d'eau rendue légèrement conductrice de l'électricité par l'addition d'un acide ou de sel marin capable de réagir chimique-

ment sur le métal qu'on doit y plonger. A communique avec A' au moyen d'un tube recourbé *a b c* rempli d'argile humectée d'une solution saline, dont la nature dépend de l'effet que l'on désire produire dans A; A' et A'' communiquent ensemble par l'intermédiaire d'une lame de platine ou d'or *a' b' c'*; et enfin A et A'' avec un couple voltaïque CMZ, composé de deux lames MC et MZ cuivre et zinc; enfin, un tube de sûreté *tt* est placé dans le bocal A', pour indiquer les pressions intérieures résultant des dégagements de gaz. D'après cette disposition, l'extrémité *a'* de la lame de platine est le pôle positif d'un appareil voltaïque dont l'action est lente et continue. Quand le liquide contenu dans A' est bon conducteur, l'intensité des forces électriques est suffisante pour décomposer le sulfate de cuivre qui se trouve dans A : dès lors l'oxigène se rend vers *a'*, ainsi que l'acide sulfurique qui, en passant dans le tube *a b c*, chasse les acides qui ont moins d'affinité que lui pour les bases. Ces acides et l'oxigène se rendent dans le liquide A', où leurs réactions lentes déterminent des changements relatifs aux corps qui s'y trouvent. Cet appareil permet d'opérer sur une plus grande échelle et d'éviter la réaction de l'oxide, comme dans les appareils dont nous avons donné précédemment la description.

558. On est forcé souvent de placer un quatrième bocal entre A et A', dans lequel on met une quantité suffisante de la dissolution saline qui doit être décomposée par l'acide sulfurique, pour que les effets produits dans le liquide A' ne soient pas interrompus quand tout le liquide de l'argile a été décomposé. Ainsi, quand on voudra porter un gaz ou un acide à l'état naissant dans le liquide du bocal A', il suffira de placer dans l'argile une dissolution qui, par sa réaction sur l'acide sulfurique provenant de la décomposition du sulfate de cuivre, laisse dégager ce gaz ou cet acide. S'il s'agit, au contraire, d'y porter de l'hydrogène ou un gaz électro-positif, il faut renverser les moyens de communication, et mettre *a' b' c'* à la place de *a b c* et réciproquement.

Enfin, si l'on remplace la lame de platine par une lame d'un métal oxidable, l'on introduit dans la solution intermédiaire la réaction d'un oxide qui, se trouvant à l'état naissant, concourt à la formation des produits. L'inspection seule de la figure suffit pour donner une idée des résultats que l'on peut obtenir en variant convenablement les solutions.

§ II. *Usage de l'appareil quand la lame positive n'est pas oxidable.*

559. 1re Expérience. — On verse dans le bocal A' une dissolution alcoolique de sulfo-carbonate de potasse, dans le bocal A une dissolution de sulfate de cuivre, et dans l'argile du tube *abc* une solution de nitrate de potasse; après 24 heures d'expérience, la réaction de l'oxigène et de l'acide nitrique sur la dissolution du sulfo-carbonate est déja sensible; car on aperçoit sur le bout *a'* de la lame de platine les produits que nous avons indiqués plus haut, en opérant avec une lame de plomb; c'est-à-dire, des cristaux de soufre, de carbonate neutre, de potasse, etc., mais non du carbonate de plomb, puisqu'il n'y a pas d'oxide de ce métal.

2e Expérience. — *Cristaux de soufre; sulfate et carbonate de baryte.* On substitue dans l'appareil précédent, au sulfo-carbonate de potasse, une solution de sulfo-carbonate de baryte; des réactions analogues ne tardent pas à se manifester : précipitation de soufre en petits cristaux, et formation de sulfate et de carbonate de baryte en aiguilles prismatiques. On obtiendrait peut-être par ce procédé des cristaux d'une certaine dimension, si l'on recourbait la lame de platine de manière à en faire une cuiller, pour empêcher que les cristaux qui se forment sur la surface de la lame ne tombassent au fond du vase.

3e Expérience. — *Moyen de constater la présence de l'acide nitrique et celle de l'acide hydro-*

chlorique dans une dissolution quelconque, même lorsque ces deux acides s'y trouvent en très-petite quantité. On remplace la lame de platine *a' b' c'* par une lame d'or, puis l'on verse dans le bocal A une dissolution de sulfate de cuivre et dans le bocal A' et l'argile du tube *a b c* une dissolution du composé qui est censé renfermer les deux acides en combinaison avec des bases; aussitôt que l'appareil commence à fonctionner, l'acide sulfurique chasse les deux acides de leurs combinaisons, lesquels se portent, avec l'oxigène qui provient de la réduction de l'oxide de cuivre, sur le bout *a'* de la lame d'or; la couleur jaune qui se manifeste sur-le-champ indique la présence de l'acide nitrique et de l'acide hydro-chlorique. Cette réaction s'obtient également quand on substitue aux bocaux des tubes de petites dimensions; par ce procédé, aucunes parties des acides ne sont perdues, car toutes sont transportées au pôle positif, et concourent à la production de l'hydrochlorate d'or.

4e Expérience. — *Sulfite de cuivre.* On remplit le bocal A' d'une dissolution de sulfite de potasse, et l'on remplace la lame d'or *a' b' c'* par une lame de cuivre. L'extrémité *a'* étant toujours le pôle positif, attire l'oxigène et l'acide nitrique; ce dernier décompose le sulfite et s'empare de la base; l'acide sulfureux se porte sur l'oxide de cuivre qui se forme en même temps et se combine avec lui; le sulfite de cuivre se combine lui-même avec le sulfite de potasse, d'où résulte un composé qui cristallise en beaux octaèdres; mais l'acide nitrique continuant toujours à arriver, finit par décomposer ce double sulfite : il se dégage alors du gaz acide sulfureux, le sulfite de potasse est transformé en bisulfite et en nitrate de potasse. Quant au sulfite de cuivre, il se précipite en cristaux octaèdres transparents, d'un rouge vif, avec l'éclat du grenat pyrope. M. Chevreul a obtenu, il y a long-temps, ce sulfite de cuivre, par les procédés ordinaires de la chimie.

Nous pourrions étendre encore davantage le nombre des résultats, mais nous croyons avoir rempli le but que nous nous sommes proposé ici, celui de faire connaître la description d'un appareil qui est d'un usage fréquent.

CHAPITRE XV.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ, COMME MOYEN D'ESSAI CHIMIQUE.

560. Dès l'instant qu'on eut reconnu qu'il n'existe pas de courant électrique dans un circuit mixte, c'est-à-dire dans un circuit composé de deux métaux ou d'un liquide ou de deux liquides différents, et d'un liquide sans qu'il y ait action chimique du liquide sur le métal, ou différence de température entre les deux bouts du fil ou de la lame de métal plongeant dans le liquide, on chercha à utiliser les effets électro-chimiques pour découvrir la présence de certains éléments dans les solutions, et même pour les en retirer entièrement. Les expériences qui ont déja été faites à cet égard ne laissent aucun doute sur le parti avantageux que l'on peut tirer de ce mode d'expérimentation pour l'analyse qualificative. Le lecteur pourra en juger par les résultats suivants.

§ Ier. *Procédé pour reconnaître les altérations que certaines dissolutions éprouvent au contact de l'air atmosphérique.*

561. On est fort embarrassé souvent de reconnaître en chimie si un liquide quelconque éprouve des altérations lentes au contact de l'air; les phénomènes électriques qui ont lieu dans la réaction l'un sur l'autre de deux liquides hétérogènes, nous mettent à même de résoudre

cette question aussi complétement qu'il est possible de l'espérer.

Supposons qu'on ait dissous du fer dans de l'acide nitrique et que la liqueur ait été filtrée; plongeons ensuite dedans deux lames de platine, communiquant chacune avec l'une des extrémités du fil d'un multiplicateur; laissons-en une dans la dissolution, retirons l'autre et replongeons-la de nouveau; il se produit alors un courant électrique, dont la direction est telle, que la lame retirée de la dissolution et replongée de nouveau prend l'électricité positive. En agissant d'une manière inverse, le courant chemine dans une direction contraire.

Le nitrate de plomb et celui de cuivre jouissent de la même propriété; mais ils la perdent peu à peu, et au bout de quelques heures elle cesse d'être sensible.

Le nitrate de zinc, nouvellement préparé, n'offre rien de semblable.

Il est facile de prouver que l'effet produit est dû à la réaction, sur la dissolution, de la portion de cette même dissolution adhérente à la lame, qui a éprouvé des changements de la part de l'oxigène de l'air. En effet, on prend un tube de verre, de six millimètres de diamètre, et l'on ferme l'une de ses extrémités avec un bouchon de liége, dans lequel on fait passer l'un des bouts de fil qui est terminé par une lame de même métal; puis après avoir rempli un tube de gaz hydrogène, on le renverse verticalement dans la dissolution nitrique par le bout ouvert. En retirant le fil, on fait sortir le fil de la dissolution et on l'y replonge ensuite; il ne se produit alors aucun courant; ainsi nul doute que dans le premier cas l'effet ne doive être attribué à la réaction de l'oxigène sur le nitrate de fer. Or, nous savons que la dissolution du fer, dans l'acide nitrique, donne naissance à plusieurs composés, à du deutoxide d'azote et à de l'acide nitreux, à du proto-nitrate, et à du deuto-nitrate de fer; peu à peu le deutoxide d'azote passe à l'état d'acide nitreux, le proto-nitrate à celui de deuto-nitrate, et au bout d'un certain temps il n'y a plus que du deuto-nitrate.

D'après cela, quand on retire de la dissolution l'une des lames de platine, le liquide qu'elle emporte avec elle, en raison de son peu d'épaisseur, éprouve sur-le-champ, de la part de l'air, les changements qui n'ont lieu qu'après plusieurs heures dans la masse de la dissolution; elle se sature d'oxigène. En replongeant la lame, on met en contact deux liquides qui ne contiennent pas les mêmes parties constituantes, et rien ne s'oppose alors à ce qu'il se produise un courant, dirigé comme nous l'avons dit; le liquide qui recouvre la surface de la lame étant saturé d'oxigène, doit se comporter comme un acide, c'est-à-dire prendre l'électricité positive.

La dissolution de zinc dans l'acide nitrique ne doit donner lieu à aucun courant, lors de l'immersion de la lame de platine, puisqu'il n'existe qu'un seul nitrate.

Cet effet suffit pour montrer comment il faut opérer pour reconnaître si une solution éprouve des changements lents à l'air.

§ II. *Procédé pour constater la présence, dans une solution, d'un nitrate, d'un chlorure, de l'acide nitrique ou de l'acide hydro-chlorique.*

562. Rien n'est plus simple que de reconnaître immédiatement, au moyen des effets électro-chimiques, si une solution renferme un nitrate ou un chlorure. Prenons une capsule de porcelaine, remplie de la solution d'épreuve, aussi concentrée que possible, et plongeons dedans, d'une part, une lame de platine en communication avec l'un des bouts du fil d'un multiplicateur très-sensible, et de l'autre, une lame d'or, sur laquelle on répand de l'or précipité par le sulfate de fer, qui se trouve en parties tenues, pour que la force de cohésion soit très-faible. Supposons que la solution renferme un chlorure : on verse dedans une goutte d'acide nitrique précisément sur l'or précipité; il y a décomposition d'une partie du chlorure, formation d'eau régale, qui réagit immédiatement sur l'or, en donnant lieu à un

courant qui va du métal à l'acide, conformément au principe général : cette réaction est extrêmement sensible, et se manifeste même avant que le liquide commence à se colorer. Si, au lieu de chlorure, la solution renferme de l'acide hydro-chlorique, l'effet est le même.

En opérant de la même manière on constate la présence d'un nitrate ou de l'acide nitrique dans une solution; il suffit de verser dans la solution quelques gouttes d'acide hydro-chlorique pour qu'il y ait production d'un courant.

Comme il faut agir sur des solutions très-concentrées, il vaut mieux employer le sel solide que dissous. On le pose alors sur l'or, qui plonge dans l'eau distillée, et on répand dessus la goutte d'acide.

La réaction de l'acide hydro-chlorique sur le nitrate et l'or est moins prompte que celle de l'acide nitrique sur le chlorure et l'or; c'est un motif pour opérer sur des solutions très-concentrées.

Si l'on veut reconnaître la présence de l'acide nitreux dans de l'acide nitrique, on remplit la cuiller de platine de cet acide, et on plonge dedans la lame d'or, recouverte d'or précipité : il y a aussitôt réaction du mélange d'acide sur l'or et production d'un courant; bien entendu que, dans toutes ces opérations, les surfaces des cuillers et les lames d'or et de platine sont privées de tout corps étranger; car si cette précaution n'avait pas été prise, leur réaction sur les liquides donnerait naissance à des courants qui compliqueraient les résultats.

§ III. *Procédé pour constater la présence du plomb et du manganèse dans une solution, et de les en retirer entièrement.*

563. L'électro-chimie nous offre le moyen de reconnaître les moindres traces de plomb et de manganèse dans une solution, là où les réactifs chimiques sont impuissants.

On prend un bocal de verre, dans lequel on verse une solution de nitrate de cuivre, puis on plonge dedans

un tube rempli, dans sa partie inférieure, d'argile légèrement humectée d'une solution d'acétate de soude, et l'on verse, dans sa partie supérieure, une solution d'acétate de fer. Une lame de platine qui communique avec le pôle positif d'une pile formée d'un petit nombre d'éléments, plonge dans l'acétate, et une autre lame de cuivre, qui est en communication avec le pôle négatif, dans le nitrate. Dès l'instant que l'appareil commence à fonctionner, comme le nitrate de cuivre se décompose avec facilité, sous l'influence de forces électriques assez faibles, le cuivre se dépose sur la lame de même métal, tandis que l'oxigène et l'acide nitrique sont transportés dans l'autre tube, où l'oxigène se dégage, tandis que l'acide nitrique décompose l'acétate de fer, en se combinant avec le métal et chassant l'acide acétique. L'action de cette pile étant trop faible pour décomposer par elle-même l'acétate et déterminer le transport de l'oxide de fer au pôle négatif, il en résulte que tous les produits qui se forment restent dans le tube, et la surface de la lame de platine conserve le brillant qu'elle avait avant l'expérience. Vient-on ajouter, à la dissolution de l'acétate de fer, une seule goutte d'acétate de manganèse, ne renfermant qu'un millième de gramme de ce sel, et même moins, la lame de platine, qui est le pôle positif, prend peu à peu une teinte légère de couleur de bistre. Augmente-t-on la quantité d'acétate de manganèse, la couleur devient de plus en plus foncée, puis tout-à-fait noire. Cette réaction se produit tant qu'il y a du manganèse dans l'acétate de fer; la substance qui colore ainsi la lame de platine est le peroxide de manganèse. Voici ce qui se passe dans cette expérience : la lame de platine exerce sur la dissolution des acétates une action décomposante, sans pouvoir cependant opérer leur décomposition, à cause de la petite tension de la pile; mais l'oxigène et l'acide nitrique qui arrivent dans la dissolution, complètent la décomposition, en en suroxidant l'un et l'autre le manganèse et le fer; mais le peroxide de manganèse, étant insoluble dans les

acides, se dépose sur la lame de platine comme une pellicule dont les parties ont un aspect métallique, tandis que le peroxide de fer, qui forme des combinaisons avec ces mêmes acides, reste dissous dans les acides.

Nous avons employé une pile à petite tension, pour mieux faire connaître ce qui se passe dans cette expérience; mais on parvient au même résultat avec une pile ordinaire : on verse dans une capsule de porcelaine la dissolution d'acétate de fer et de manganèse, dans laquelle on plonge deux lames de platine en communication chacune avec l'un des pôles de la pile. Il y a aussitôt décomposition de l'eau et dégagement de gaz; l'oxigène, en se rendant au pôle positif, suroxide le manganèse, qui abandonne alors l'acide acétique, et se dépose, comme précédemment, sur la lame positive de platine. On voit maintenant pourquoi le nitrate de cuivre était nécessaire quand on a employé la pile à petite tension; l'eau n'étant pas décomposée, il fallait se procurer de l'oxigène et un acide plus fort que l'acide acétique; la décomposition facile du nitrate de cuivre a fourni l'un et l'autre. Le sulfate et le nitrate de manganèse conduisent au même résultat que l'acétate, parce que le peroxide de manganèse est insoluble dans les acides sulfurique et nitrique. Rien n'est plus simple que de séparer, par ce procédé, le manganèse du fer; il suffit de former une dissolution de ces deux métaux dans l'acide acétique, et de prendre des lames de platine assez grandes et une pile suffisamment énergique, pour que l'expérience puisse marcher promptement; quand on opère sur une petite quantité, quelques heures suffisent quelquefois, surtout si l'on a la précaution d'enlever de temps à autre le peroxide qui se dépose sur la lame positive de platine. Quand la dissolution renferme un gramme d'acétate de manganèse, il faut vingt-quatre heures et plus; mais, nous le répétons, le temps dépend de la dimension des lames et de la tension de la pile. Quand la lame cesse de se colorer, on est assuré

alors que la dissolution ne renferme plus de manganèse, ou du moins en renferme une quantité inappréciable, puisqu'un millième de gramme, et encore moins dans un gramme d'eau, est rendu sensible par ce procédé. A mesure que la décomposition s'effectue, la liqueur devient de plus en plus acide; c'est par ce motif qu'il se dépose peu d'oxide de fer sur la lame négative, parce qu'il est redissous aussitôt. Quand l'opération est terminée, on lave cette lame avec de l'acide, pour dissoudre la petite quantité d'oxide de fer qui s'y trouve, et recueillir le peroxide de manganèse qui a pu s'y attacher.

564. Quels que soient les métaux combinés avec le manganèse, on parvient à en séparer aisément ce dernier : je citerai, entre autres, le manganèse et le zinc, dont la séparation est difficile par les voies ordinaires de la chimie.

La liqueur se colore souvent en rose vers la fin de l'opération, et redevient incolore quelque temps après, lorsque l'action de la pile a cessé; cela tient à ce que celle-ci, exerçant une action réductive sur le tritoxide, tend à reformer une petite quantité de sel au minimum d'oxidation : mais, en continuant l'expérience, on finit par décomposer ce dernier, au point qu'il n'en reste plus dans la dissolution. Nous avons employé, pour ces expériences, une pile à auge, de trente paires de disques, de 8 centimètres de hauteur sur 6 de largeur, chargée avec une dissolution légère de sel marin, pour qu'elle pût fonctionner long-temps. Des piles plus énergiques, en décomposant l'acide acétique, produiraient peut-être des effets qui contrarieraient ceux dont on a besoin pour former le peroxide de manganèse. La séparation du plomb des métaux avec lesquels il est combiné, s'effectue d'après les mêmes principes; cependant on doit faire au procédé indiqué une modification particulière, que voici : pour le manganèse, il a suffi de plonger dans la dissolution des acétates deux lames de platine en communication chacune avec les pôles d'une pile ordinaire : mais, lors-

qu'il s'agit de plomb, ce mode d'expérimentation ne peut être adopté, attendu que l'oxide se réduisant facilement, le métal se porte aussitôt sur la lame négative de platine, ainsi que les autres bases qui se trouvent dans la dissolution. Avec les piles à petite tension, on n'éprouve pas le même inconvénient; le plomb se comporte alors comme le manganèse, c'est-à-dire qu'il se suroxide et se dépose sur la lame positive de platine. Souvent la pellicule du peroxide est noire et cristalline; en la broyant, la couleur puce reparaît. Mais, comme les piles à petite tension n'agissent que lentement, si l'on veut se servir d'une pile ordinaire, il faut disposer les choses de manière à ce que l'oxide de plomb ne puisse être transporté au pôle négatif, où la réduction du métal s'opérerait : on y parvient en se servant de l'appareil à deux tubes, que l'on fait fonctionner avec une pile voltaïque ordinaire. Par ce moyen, on rend sensibles, non-seulement les plus petites parties du plomb qui se trouvent dans la dissolution, mais encore on les en retire toutes, sans que les réactifs chimiques les plus sensibles, l'hydro-sulfate d'ammoniaque, par exemple, puissent en reconnaître des traces, quand l'opération est terminée.

L'acétate d'argent, préparé avec l'argent de coupelle, donne assez promptement la réaction du plomb, ainsi que le nitrate du même métal. On peut donc employer avec succès ce procédé pour retirer le plomb de toutes les dissolutions où il se trouve.

§ IV. *Méthode pour reconnaître la présence des métaux dans les dissolutions, en opérant leur réduction.*

565. M. Ed. Davy a mis en pratique un procédé connu pour réduire immédiatement les métaux de leurs dissolutions, mais le mode d'expérimentation qu'il a suivi pouvant être utile dans quelques circonstances, et particulièrement dans des cas d'empoisonnement par l'arsenic

et le mercure, nous croyons devoir entrer ici dans quelques détails sur les résultats qu'il a obtenus.

Ce chimiste se sert, dans ses expériences, de deux métaux différents, le zinc et le platine, que l'on met en contact. Le zinc est ordinairement en feuilles ou en plaques minces, et le platine est employé sous forme de creuset ou de spatule terminée par une cuiller; mais le plus fréquemment le platine est en feuilles de 2 pouces environ de long et $\frac{2}{3}$ de pouce de large. Quand on veut opérer la décomposition d'une solution métallique, on ajoute une goutte ou deux d'acide à cette solution. Aussitôt qu'on applique le zinc, le platine se recouvre de métal réduit: plusieurs dissolutions métalliques ne réclament pas l'addition de l'acide. On peut employer avec avantage ce procédé pour constater la présence de l'arsenic et du mercure dans les dissolutions où ils se trouvent. La cuiller de platine est destinée à concentrer la dissolution. On réduit par ce moyen, de leurs solutions respectives, l'or, l'argent, le mercure, le cuivre, l'étain et le plomb; on peut aussi réduire immédiatement ces métaux de leurs composés solides.

Composés d'arsenic. Lorsqu'un demi-grain ou moins d'un composé d'oxide blanc est placé sur une plaque de platine, mêlé avec une goutte ou deux d'acide muriatique, et que le contact avec le zinc est établi, l'arsenic est dans l'instant réduit à l'état métallique. La surface du platine commence à s'iriser et présente différentes couleurs comme l'acier chauffé. Il se dégage ainsi beaucoup d'arsenic qui adhère fortement au platine et ne peut être enlevé ni par le frottement ni par l'action à froid des acides muriatique et sulfurique, ni par des solutions chaudes d'alcali caustique, mais il disparaît à l'instant en le touchant avec la plus faible goutte d'acide nitrique. En exposant la plaque de platine à une chaleur modérée, on reconnaît immédiatement à l'odeur d'ail la présence de l'arsenic. On peut reconnaître ainsi la présence de l'arsenic dans l'acide arsénieux en solution. Les arséniates de potasse, de chaux, l'acide arsenique, les

sulfures d'arsenic natif, doivent être traités préalablement par l'acide nitrique. Prenons une petite quantité d'arsenic rouge en poudre, mêlons-la avec une goutte de fort acide nitrique concentré dans une cuiller de platine dont on élève la température afin de chasser l'excès d'acide. On verse sur le résidu une goutte ou deux d'acide hydrochlorique, et aussitôt que le zinc est mis en contact avec le platine l'arsenic est réduit. Il faut traiter de même les pyrites arsénicales. Il est essentiel dans les préparations avec l'acide nitrique de bien chasser tout l'excès d'acide, attendu que la plus faible portion qui resterait redissoudrait immédiatement l'arsenic. Les arsénites ou arséniates de cuivre demandent un autre mode de traitement. On dissout un peu de ces composés dans quelques gouttes d'acide muriatique; puis on chauffe dans la cuiller de platine. Aussitôt que le contact avec le zinc a lieu, l'arsenic seul est réduit. En traitant au contraire par l'acide nitrique étendu, faisant bouillir et ajoutant assez d'eau pour faire une dissolution, le cuivre seul est réduit sur le platine. En enlevant le zinc, le cuivre est redissous par l'excès d'acide. En maintenant le contact du zinc, l'arsenic forme un cercle sur le platine autour du zinc, tandis que le cuivre se montre au-delà.

On peut obtenir à l'état métallique l'arsenic précipité sur la feuille de platine, en introduisant la feuille dans un tube fermé à un bout, et l'exposant à la chaleur d'une lampe à alcool; l'arsenic se sublime. M. Ed. Davy a montré que la quantité d'arsenic qui s'attache au platine n'est quelquefois que la $\frac{1}{500}$ partie d'un grain. On peut rendre sensible par le procédé électro-chimique $\frac{1}{2500}$ partie d'un grain. Aussi M. Ed. Davy regarde-t-il cette méthode comme véritablement microscopique pour découvrir la présence des métaux en général.

On emploie avec avantage le creuset quand il est revêtu intérieurement d'une couche d'or très-mince. La surface d'or se recouvre complétement d'arsenic de couleur gris d'acier sombre qui ne laisse voir aucune trace de la couleur de l'or. On a par ce moyen les preuves les

moins équivoques de la présence de l'arsenic métallique. Les réactions que l'on obtient avec la feuille ou la cuiller de platine sont aussi satisfaisantes. Ainsi l'oxidation partielle qui se montre à la surface sous l'aspect de couleurs variées et la forte adhérence de l'arsenic sur le platine, caractérisent le métal, ainsi que l'odeur alliacée et l'insolubilité dans l'acide muriatique concentré. Le fer et l'étain agissent plus lentement que le zinc, aussi doit-on préférer ce dernier métal dans les expériences.

566. Le mercure est facilement réduit de ses composés en plaçant ceux-ci sur un morceau de feuille de platine et y ajoutant une goutte d'acide nitrique ou d'acide muriatique étendu. En mettant le zinc en contact, le mercure s'amalgame bientôt avec le platine et se combine en partie avec le zinc. Nous citerons particulièrement parmi ces composés les oxides noirs et rouges, le précipité blanc, l'acétate, le sous-sulfate, le cyanure, le mercure fulminant, etc. Quant au sublimé, si une goutte de sa solution est placée sur une face brillante de cuivre, celui-ci devient, comme on sait, aussitôt d'un blanc-grisâtre. En faisant l'expérience avec le zinc, le mercure est réduit sur-le-champ à l'état métallique, et le cuivre devient blanc.

Voici une autre manière de faire l'expérience. L'on met une goutte ou deux de solution aqueuse de sublimé dans un petit creuset de platine, et l'on y ajoute un volume égal environ d'acide muriatique; aussitôt que l'on met le zinc en contact, le mercure est réduit. Une des parties du mercure rend le platine d'une couleur blanche brillante, et l'autre partie s'amalgame avec le zinc, le blanchit et le rend friable. Après avoir lavé et essuyé le creuset, on le recouvre d'un verre plat, et on le fait chauffer avec une lampe à alcool. Le mercure s'élève et se condense en une poudre blanche extrêmement fine avec laquelle on peut reconnaître, au moyen du frottement, les globules métalliques.

Il existe encore un autre moyen très-simple de découvrir la présence du sublimé, soit à l'état solide, soit

dissous dans l'eau, l'alcool ou l'éther. Ce moyen consiste à mettre sur une face brillante de cuivre un morceau solide de ce composé, ou une goutte de sa solution, et d'y ajouter une goutte d'acide hydrochlorique. La réduction du mercure s'opère immédiatement. Le protochlorure de mercure étant lentement décomposé dans le creuset de platine, on doit employer le procédé suivant: on mêle une petite quantité du composé avec quelques gouttes d'acide nitrique étendu; on fait bouillir un instant le tout dans un petit creuset de platine, et l'on y ajoute un peu d'eau, puis on met le zinc en contact, le mercure se réduit alors aisément.

567. M. Smithson (1) a indiqué, il y a quelques années, un procédé pour constater la présence du mercure dans une solution, qui revient au précédent, et dont nous nous sommes servis souvent avec avantage.

On met sur une lame d'or les composés salins de mercure avec une goutte d'acide hydrochlorique et un morceau d'étain; il se forme aussitôt un amalgame d'or, qui masque la belle couleur de ce dernier métal.

Il est inutile d'ajouter de l'acide quand on opère avec une goutte de sublimé.

La réduction des métaux par la méthode électro-chimique n'est pas altérée sensiblement par la présence de substances végétales et animales. Il était important de constater ce fait, à cause des cas d'empoisonnement où l'on peut avoir recours à la méthode indiquée.

Si l'on mêle une petite quantité d'acide arsénieux solide avec diverses substances, telles que de l'amidon, du riz, du sucre, du lait, de l'albumine, etc., etc., l'arsenic se précipite aisément sur le platine par l'addition de quelques gouttes d'acide hydrochlorique.

Toutes les substances organiques animales ou végétales donnent constamment le même résultat.

Avec le deuto-chlorure l'effet est encore le même, surtout

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXI, p. 97.

quand on y ajoute un peu d'acide hydrochlorique. Nous citerons particulièrement l'expérience qui a été faite par M. Ed. Davy, avec du lait dans lequel il avait mis une très-petite quantité d'une solution de sublimé corrosif. Ayant ajouté au mélange environ la moitié de son poids d'acide hydrochlorique, il mit une petite quantité de ce liquide dans un creuset de platine, puis établit le contact avec le zinc. Peu de temps après le platine fut recouvert d'une couche grise de mercure. Ce résultat montre avec quelle facilité on peut reconnaître la présence du mercure dans des cas d'empoisonnement. Ce mode d'expérimentation est d'autant plus précieux, que l'on obtient les réactions en peu de minutes. Nous rappellerons aussi que, lorsqu'il s'agit du mercure, le creuset et la lame de platine dorés sont préférables au platine pur. La présence des matières organiques dans les sels à base de plomb et de cuivre ne met non plus aucun obstacle à la réduction du métal.

Il est probable que la méthode précédente est applicable aux cas où les sels à base d'arsenic, de mercure, de plomb et de cuivre, se trouvent dans les mélanges les plus compliqués des substances organiques.

Il sera nécessaire pour reconnaître les cas d'empoisonnement d'appliquer les observations précédentes au contenu et au tissu de l'estomac. Il n'y aurait d'obstacle que si les substances animales ou végétales résistaient à l'action des acides qui sont nécessaires pour le succès des expériences.

Composés de plomb. Les composés solubles sont facilement réduits à l'état métallique par l'emploi de la lame de platine et de celle de zinc. Quant aux composés insolubles, tels que les oxides, le carbonate, le sulfate, etc., il faut les mélanger préalablement avec de l'acide nitrique étendu, ou avec de l'acide hydrochlorique. Le plomb, qui est réduit dans cette circonstance, est ordinairement d'une couleur gris sombre, et n'offre le brillant métallique que lorsqu'on le frotte avec un corps dur. Sa cohésion avec le platine est en général si

faible, qu'on peut enlever la plus grande partie déposée avec le doigt.

Composés de cuivre. Pour mettre le cuivre à nu, il suffit d'une goutte de la solution d'un sel de cuivre et du contact du zinc; le métal réduit apparaît aussitôt sur le platine. Quant aux composés insolubles, il faut y ajouter une petite quantité d'acide hydrochlorique ou d'acide nitrique étendu. Le cuivre ainsi réduit offre la couleur et le brillant de ce métal. Quand la surface est terne, il suffit d'un léger frottement pour montrer l'apparence métallique.

Nous devons à M. Sérullas un procédé électro-chimique, à l'aide duquel on découvre les moindres traces du bismuth dans une solution; l'ayant fait connaître avec assez de détails (460), nous n'y reviendrons pas.

§ V. *Méthode pour essayer l'or et l'argent.*

568. Peu de temps après que nous eûmes analysé les effets électriques qui ont lieu dans toutes les actions chimiques, nous proposâmes l'emploi de ces effets pour essayer les matières d'or et d'argent (1). Voici le passage du Mémoire relatif à cette expérience : « Nous pouvons « reconnaître de très-petites quantités de cuivre dans « l'or, et même déterminer si un or renferme plus d'al- « liage qu'un autre : en effet, servons-nous d'une cuiller « d'or parfaitement pur; soudons-la à un fil de platine, « qui vienne plonger dans l'une des petites capsules « remplies de mercure où aboutissent les extrémi- « tés du fil du galvanomètre; versons dans cette « cuiller de l'acide nitrique, exempt de gaz nitreux, et « plongeons dedans le morceau d'or, qui est fixé entre « les branches de la pince de platine; dans le cas où ce « morceau d'or renferme du cuivre, son action sur l'a- « cide nitrique détermine un courant, qui va de la cuil- « ler d'or à la pince, etc.

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIV, p. 347, 1823.

« Maintenant veut-on savoir de deux morceaux d'or « celui qui renferme le plus de cuivre, on fixe chacun « d'eux à l'un des bouts du fil de platine qui commu- « nique avec le galvanomètre ; on plonge ensuite, « également et en même temps, ces deux morceaux dans « une capsule remplie d'acide nitrique; le sens du cou- « rant détermine alors où a été l'action chimique la « plus forte, et quel est l'or qui renferme le plus de « cuivre. »

Cinq ans après, M. OErsted (1) a développé de nouveau ce principe, en se servant aussi du multiplicateur, dont les bouts du fil communiquaient avec les pièces d'essai. « La différence plus ou moins grande dans l'oxi- « dabilité des deux métaux fait tourner plus ou moins « l'aiguille, ce qui suit naturellement de la différente « force de l'émanation électrique. On parvient aussi à « connaître dans quel rapport se trouve l'oxidabilité de « deux métaux comparés l'un à l'autre. »

C'est précisément là le principe que nous avons posé plus haut.

M. OErsted propose ensuite de prendre pour lames d'essai des lames d'argent de différents degrés de pureté, depuis l'argent le plus fin jusqu'au cuivre.

Quand on veut essayer une pièce d'argent, il propose de commencer par examiner l'intensité du courant qu'elle produit avec une des lames d'essai moyennes. A cet effet on joint la lame designée pour l'essai à l'un des fils du multiplicateur, et l'argent que l'on veut employer à l'autre bout; puis l'on met en contact la lame et la pièce, au moyen d'une substance poreuse pénétrée d'acide hydrochlorique : la déviation de l'aiguille indique aussitôt si l'argent qu'on essaie est plus ou moins pur que celui de la lame. S'il est plus pur, on fait l'essai avec la lame d'argent à 14 deniers; s'il est alors moins pur que l'argent de cette lame, on l'essaie avec la lame

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXXIX, p. 247, 1828.

d'argent à 13 deniers, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on arrive à une lame qui renferme sensiblement la même quantité d'alliage : dans ce cas, le courant doit être à peine sensible.

Cette méthode d'expérimentation serait parfaite, si la moindre cause n'apportait pas des changements dans l'intensité du courant. La plus petite différence dans l'état des surfaces, par exemple, suffit pour modifier cette intensité. On a beau polir les surfaces, les laver et les essuyer, ces précautions ne suffisent pas toujours pour les rendre identiques.

M. OErsted prend, pour substance intermédiaire, du drap non teint, ou de l'amidon lavé.

Il est bien évident que si l'argent contenait d'autres substances que le cuivre, il faudrait employer des liquides convenables pour découvrir la nature de l'alliage.

La méthode que nous exposons ne peut être employée avantageusement que par des personnes habituées aux expériences électro-chimiques, en raison des précautions à prendre pour assurer le succès des essais.

§ VI. *De la précipitation des métaux par d'autres métaux.*

569. La précipitation des métaux de leurs dissolutions par des métaux plus oxidables, est en partie une action chimique, en partie le résultat d'un phénomène électrique, dont nous devons parler ici en raison de son importance dans les analyses chimiques et même dans les arts.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que l'action d'un seul couple voltaïque sur un grand nombre de solutions métalliques, suffisait pour déterminer la précipitation du métal sur l'élément le moins oxidable de ce couple; cette précipitation s'opère également quand on plonge dans la solution un métal très-oxidable, tel que le zinc ou le fer. Dans ce cas, le métal, pendant

qu'il s'oxide et s'empare de l'acide qui est uni à l'autre métal, prend l'électricité négative et l'acide l'électricité positive; le métal réduit se trouvant à l'état positif, se précipite naturellement sur l'autre métal, d'où résulte ensuite un couple voltaïque, qui achève la précipitation du métal le moins oxidable. M. Dumas a présenté, dans le tableau suivant, les sels dont les dissolutions sont irréductibles ou réductibles par d'autres métaux (1) :

SELS dont LES DISSOLUTIONS sont IRRÉDUCTIBLES PAR LES MÉTAUX.	SELS dont LES DISSOLUTIONS SONT RÉDUCTIBLES PAR CERTAINS MÉTAUX.	
Sels à base de potasse et (des deux premières sections).	Sels { d'étain. d'antimoine. d'arsenic. de bismuth. de plomb. de cuivre. de tellure.	
Sels { de manganèse. de zinc. de fer. de chrome. de cobalt. de cérium. d'urane. de titane. de nickel.	Nitrates de mercure { réduits par le fer, le zinc et tous ceux qui précèdent.	Réduits par le fer, le zinc, et peut-être le manganèse.
	Sels { d'argent. de palladium. de rhodium. de platine. d'or. d'osmium. d'iridium. } réduits par le zinc, le manganèse, le cobalt et tous ceux qui précèdent l'argent.	REMARQUES. L'acétate de cuivre est réduit par le plomb. Le nitrate d'argent est réduit par le cobalt.

M. Berzelius a donné la série suivante : or, argent, mercure, bismuth, cuivre, étain, zinc, dans laquelle chaque métal est réduit de ses dissolutions par ceux qui viennent après.

Dans la précipitation des métaux de leurs dissolutions par d'autres métaux plus oxidables, nous considérons que ces deux métaux et l'acide constituent un élément

(1) Traité de Chimie appliquée aux arts, t. XI, p. 195.

voltaïque par suite de la réaction de l'acide sur le métal oxidable; mais, dès l'instant que le précipité est commencé, l'élément voltaïque n'est plus moléculaire, comme dans les premiers instants de l'action; alors la réduction continue à s'effectuer en vertu de la présence du métal réduit sur l'autre métal, qui, étant plus attaqué que l'autre, constitue un véritable élément voltaïque. Mais il ne suffit pas toujours que le métal précipitant possède à un plus haut degré que l'autre la tendance à s'unir, soit à l'oxigène, soit aux acides, quand il est oxidé : par exemple, si l'on met un morceau d'étain dans une dissolution de plomb, il semblerait que l'étain, en vertu de sa plus facile oxidation, devrait enlever l'oxigène au plomb, et le précipiter; mais il n'en est pas ainsi; d'où cela peut-il venir? il est difficile de répondre à cette question en s'appuyant sur les principes électrochimiques; car il suffit qu'il y ait une différence dans le degré d'énergie avec laquelle un acide attaque deux métaux qui se trouvent en contact, pour qu'il y ait action voltaïque; il peut se faire que, dans cette circonstance, cette action ne soit pas assez puissante pour opérer la décomposition des sels de plomb.

On a observé qu'il fallait, pour que la précipitation s'opérât facilement, que les dissolutions fussent un peu étendues, et quelquefois légèrement acides. Par ce moyen le métal précipitant est plus facilement attaqué, et réagit mieux sur le sel dissous. Ces métaux réduits se déposent soit en poudre, soit en cristaux, soit en couche mince. Dans les deux premiers cas, l'action est continue; mais, dans le second, quand la couche est assez étendue pour masquer la surface du métal oxidant, alors celui-ci n'étant plus attaqué par l'excès d'acide, l'action voltaïque n'a plus lieu, et la précipitation s'arrête. On observe souvent un effet de ce genre, quand on plonge un morceau de fer dans une dissolution de nitrate d'argent, et lorsqu'on veut dorer ou argenter, dans les arts, le cuivre ou le laiton.

Quand le métal précipité et le métal précipitant ont

une affinité l'un pour l'autre, la combinaison s'effectue. C'est ce qui arrive quand on précipite les sels d'or et d'argent par le mercure. Dans ce cas, l'amalgame d'argent, qui cristallise en longues aiguilles, est appelé *arbre de Diane*. Le cuivre s'allie également avec l'or et l'argent, quand on l'emploie à précipiter ces deux métaux de leurs dissolutions.

Le zinc, mis en contact avec une dissolution d'acétate de plomb, précipite ce dernier en beaux cristaux lamelleux, qui forment l'arbre de Saturne.

L'argent se dépose sous forme cristalline, ou en couches minces, douées de l'éclat métallique.

Le cuivre se précipite en plaques informes, ayant l'éclat métallique. Le mercure forme des gouttelettes. Les autres métaux se présentent sous la forme d'une poudre noire, dans laquelle on peut reconnaître immédiatement le caractère métallique.

570. Nous devons appeler l'attention du lecteur sur un effet voltaïque remarquable, qui a lieu dans l'étamage des épingles.

L'étain, comme on sait, précipite le cuivre de ses dissolutions, et cependant on précipite l'étain de ses dissolutions dans l'action de l'étamage des épingles. Si l'on introduit des épingles dans une dissolution contenant de l'étain, un mélange d'une partie de surtartrate de potasse, de deux d'alun, de deux de sel marin et d'une certaine quantité d'eau, les épingles ne s'étament jamais, quelque temps qu'on les laisse plonger dans la dissolution; mais si l'on plonge dans la dissolution un morceau d'étain qui touche les épingles, celles-ci s'étament aussitôt: les épingles qui ne sont pas touchées par l'étain, ne sont pas étamées. Pour rendre compte de l'effet produit, il faut remarquer que l'étain que l'on plonge, éprouve une action chimique faible de la part de la dissolution, par suite de laquelle le métal devient négatif et la dissolution positive; en établissant le contact avec les épingles de laiton, celui-ci devient l'élément négatif du couple voltaïque, dont l'énergie est suffisante pour dé-

terminer la précipitation de l'étain, qui est réduit ordinairement avec facilité par l'emploi d'un seul couple.

Avant de continuer l'exposé des phénomènes électro-chimiques, arrêtons-nous pour ne pas trop multiplier les faits, dans la crainte que le lecteur ne puisse en saisir facilement l'ensemble, et essayons de les enchaîner par une théorie qui en donne une explication aussi satisfaisante qu'il est possible de l'espérer dans l'état actuel des choses. La tâche est difficile, nous le savons; aussi est-ce un motif, pour nous, de présenter ici tous les documents qui peuvent éclairer la discussion relative à la théorie électro-chimique.

THÉORIES
ÉLECTRO-CHIMIQUES.

LIVRE V.

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIES RATIONNELLES IMAGINÉES POUR EXPLIQUER LA FORMATION DES CORPS.

§ Ier. *Premières vues sur la formation des corps jusqu'à la découverte de la théorie atomique.*

571. Nous ignorons et nous ignorerons peut-être longtemps encore la forme, le volume réel et la nature des dernières particules des corps auxquelles on a donné le nom de molécules ou d'atomes, parce que nous les supposons indivisibles, et que leur petitesse est telle qu'elles ne sont pas perceptibles à nos sens; d'un autre côté, nous ne savons pas encore au juste quelle est la cause qui préside à leur combinaison et à leur arrangement, quoique l'électricité y intervienne d'une manière déterminante. Les physiciens, s'ils veulent remonter à l'origine des phénomènes naturels, doivent faire les plus grands efforts pour découvrir les propriétés physiques des atomes et leur véritable nature. Ces recherches, qui ne peuvent être entreprises qu'en s'appuyant en partie sur les phéno-

mènes électro-chimiques, rentrent par conséquent dans le domaine de la science dont nous exposons les principes dans cet ouvrage.

Nous n'avons nullement l'intention de rapporter ici tous les systèmes qui ont été mis en avant pour expliquer la formation des corps, puisqu'on peut les varier à l'infini, en ne consultant que son imagination, sans qu'il en résulte aucun avantage pour la science; nous ne parlerons seulement que des vues théoriques qui reposent sur des faits et dont nous pouvons avoir besoin pour l'exposé de la théorie électro-chimique telle que nous la concevons.

572. Avant de chercher par des moyens rationnels à expliquer comment s'effectue la combinaison des atomes hétérogènes, les physiciens se sont occupés de grouper des molécules dans certaines directions, autour d'un noyau primitif pour reproduire ces belles formes cristallines dont la nature est si prodigue. Romé-de-Lisle est le premier qui ait préparé les voies à un système fameux de cristallographie qui a jeté quelque jour sur le mode de groupement des molécules.

En plaçant à côté les unes des autres les différentes formes relatives à chaque espèce minérale, il s'aperçut que l'on pouvait choisir pour forme primitive, c'est-à-dire servant de type aux formes secondaires, la forme la plus simple. En supposant ensuite celle-ci tronquée dans différents sens, il en déduisit les autres formes. Ayant mesuré avec assez d'exactitude les angles formés par les faces, il fut conduit à cette vérité importante, que leur valeur est constante dans chaque variété. Romé-de-Lisle décrivit donc les cristaux, sans chercher à pénétrer dans le mécanisme de leur structure.

573. Bergmann entreprit cette tâche; il avança que les différentes formes relatives à une même substance étaient produites par la superposition de plans tantôt constants et tantôt variables, et décroissants autour d'une même forme primitive. Il vérifia l'exactitude de son principe sur une variété de chaux carbonatée appelée métas-

tique, de laquelle il parvint à extraire la forme primitive, qui est un rhomboèdre.

574. Haüy adopta la manière de voir de Bergmann; il considéra la direction du clivage dans un cristal secondaire, comme celle de la superposition des lames, et fit voir en même temps que cette direction était parallèle aux arêtes ou aux diagonales des faces de la forme primitive.

Pour lui, la molécule intégrante ou constitutive des cristaux clivables, dans chaque cristal, est le dernier terme de la division mécanique dans le noyau primitif, qui avait été découvert par Bergmann. Ainsi le chlorure de sodium, le sulfure de plomb, celui de fer, le cobalt gris, dont les formes dérivent du cube, ont pour molécule intégrante également le cube, parce qu'il est impossible d'obtenir une forme plus simple par le clivage; le fluate de chaux, le fer oxydulé, l'antimoine, qui ont pour forme primitive l'octaèdre, donnant pour dernier terme de la division mécanique un tétraèdre régulier, la molécule intégrante doit être également un tétraèdre régulier. Quant aux cristaux dont le noyau est un parallélipipède, qui ne peut être sousdivisé que par des coupes parallèles à ses faces, comme le carbonate de chaux en est un exemple, la molécule est semblable au noyau lui-même; mais comme il existe des variétés de chaux carbonatée, qui sont encore divisibles par des plans parallèles à la grande diagonale de chaque face, il s'ensuit que l'on est dans le doute si la molécule intégrante est réellement un rhomboèdre ou un solide dérivant des divisions suivant la grande diagonale des faces et suivant les faces elles-mêmes. D'autres clivages étant encore possibles dans la même substance, il en résulte une grande incertitude sur la détermination de la molécule intégrante de la chaux carbonatée; néanmoins Haüy a adopté pour celle-ci le rhomboèdre.

Quant aux cristaux dans lesquels aucun clivage n'est possible, Haüy a déterminé la forme de la molécule intégrante par le calcul, de manière que leur groupement

suivant les lois de décroissement qu'il a données, satisfît à la loi de symétrie.

Suivant ce célèbre minéralogiste, la formation des cristaux est soumise à des décroissements sur les bords ou sur les angles, c'est-à-dire parallèlement aux faces de la forme primitive, ou à des décroissements mixtes ou intermédiaires, suivant des lignes plus ou moins obliques par rapport aux diagonales, de telle sorte que ces décroissements s'effectuent par des soustractions régulières d'une ou de plusieurs rangées de molécules intégrantes, dont le calcul détermine le nombre. L'accord qu'il a cru trouver entre la valeur des angles calculée et celle qu'il a déterminée par l'expérience lui a paru suffisant pour justifier l'exactitude de ses lois de décroissement. Mais cet accord n'est pas aussi parfait qu'il l'a avancé, puisque la plus grande incidence dans le rhomboèdre de la chaux carbonatée, déduite par lui du calcul, est de 104° — 28′, tandis que Malus, à l'aide du cercle répétiteur, l'a trouvée de 105°—5′, de même que Wollaston avec son goniomètre à réflexion. Les faits que nous venons de rapporter sont certainement très-importants; mais ils ne nous apprennent rien sur le groupement régulier des atomes pour former la molécule intégrante, qui ne peut être regardée tout au plus que comme la réunion de molécules élémentaires disposées dans certain sens, de manière à donner naissance à un solide polyédrique, semblable à celui de la forme primitive ou plus simple qu'elle. Wollaston a tenté de résoudre cette question (*Trans. phil.*, 1813), mais comme ses vues ne reposent pas sur la théorie atomique, nous n'en parlerons pas, afin d'arriver plus tôt à cette théorie.

§ II. *Théorie atomique.*

575. Wenzel (1) ayant observé que deux sels neutres

(1) Lehre von den verwandschaften. Dresde, 1777.

en se décomposant réciproquement conservaient leur neutralité, trouva que ce phénomène était dû à ce que les rapports relatifs entre les quantités d'alcali et de terre qui saturent une même quantité d'acide, étaient les mêmes pour tous les acides.

J.-B. Richter consacra tout son temps à l'établissement d'une théorie chimique, fondée sur les proportions chimiques en s'appuyant sur le principe précédent.

Berthollet, dans sa *Statique chimique*, fit voir que l'énergie de l'action chimique de deux corps l'un sur l'autre ne dépendait pas seulement de leur affinité réciproque, mais encore de la masse de ces corps, toutes les fois que les corps qui se combinent et les nouvelles combinaisons restaient en contact et conservaient leur état liquide.

576. Quelques années avant les travaux de Richter et de Berthollet, Higgins (1) posa en principe que les corps sont composés de particules ou d'atomes, et que 1 atome d'oxigène ajouté à 1 oxide produisait un nouveau degré d'oxidation. Du reste, il ne chercha à appuyer d'aucune expérience ses nouvelles vues théoriques.

Quinze ans après, Dalton s'empara de cette idée, l'appliqua aux phénomènes chimiques, et chercha à la vérifier en soumettant les résultats à l'analyse. Déja en 1807, dans le journal de Nicholson, il fit paraître une table contenant les poids relatifs des atomes de quelques corps; mais c'est dans sa *Philosophie chimique*, dont le second volume parut en 1810, qu'il jeta les bases de la théorie atomique ou des proportions multiples.

Dalton admit que les combinaisons des corps ne s'opèrent qu'entre les atomes ou molécules élémentaires des corps, et jamais avec des fractions d'atomes. Ainsi il

(1) A Comparative view of the philogistic et antiphlogistic Theories, 1789.

posa en principe, 1° que si deux corps *a* et *b* peuvent se combiner en diverses proportions, leur union devra s'effectuer de la manière suivante :

1 atome de *a* avec un	atome de *b*	compose un atome	binaire *c*.
1 atome de *a* avec deux	atomes de *b*	compose un atome	ternaire *d*.
2 atomes de *a* avec deux	atomes de *b*	composent un atome	quaternaire *e*.
etc.	etc.	etc.	etc.

2° que si deux corps ne forment qu'une combinaison, les atomes du composé sont tous binaires; 3° que s'il y a deux combinaisons, les atomes de l'une d'elles sont tous binaires et les atomes de l'autre ternaires; 4° que s'il y a trois combinaisons, l'une d'elles sera binaire et les deux autres ternaires, ainsi de suite; 5° que cette manière de procéder de la nature peut avoir lieu non-seulement entre les atomes des corps simples, mais encore entre les atomes des corps composés.

De nombreuses expériences vinrent bientôt confirmer l'exactitude des lois découvertes par Dalton, de sorte qu'il fut bien prouvé que les éléments des corps hétérogènes se combinent entre eux dans des proportions fixes et multiples, relativement à leurs poids.

577. MM. Gay-Lussac et de Humboldt ayant trouvé en 1806 qu'un volume de gaz oxigène, combiné avec deux volumes de gaz hydrogène, produit de l'eau, le premier de ces physiciens, en continuant les recherches auxquelles cette observation avait donné lieu, découvrit que toutes les substances qui peuvent s'obtenir à l'état gazeux se combinent ou à volumes égaux, ou de manière que le volume de l'un soit un multiple de celui de l'autre (1). La combinaison est telle, que la contraction apparente est en rapport simple avec les volumes primitifs, comme le prouvent les résultats suivants :

(1) Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses les unes avec les autres; Mém. de la Société d'Arcueil; t. II, 1809.

Volumes en s'unissant avec		Volumes		produisent
200	de gaz hydrogène..	100	de gaz oxigène....	de l'eau.
300	idem.....	100	de gaz azote.....	200 de gaz ammoniac.
100	idem.....	100	de chlore	200 de gaz hydro-chlorique.
100	de gaz azote.....	50	de gaz oxigène....	100 de protoxide d'azote.
100	idem	100	idem.....	200 de deutoxide.
100	idem.....	150	idem.....	de l'acide hypo-nitreux.
100	idem.....	200	idem.....	de l'acide nitreux.
100	idem.....	250	idem.....	de l'acide nitrique.

Il est donc bien prouvé, par cette belle découverte de M. Gay-Lussac, que les éléments se combinent entre eux dans des proportions fixes et multiples, relativement à leurs volumes lorsqu'ils sont à l'état de gaz, de même que ces éléments relativement à leurs poids. Dès lors les lois des combinaisons gazéiformes doivent être les mêmes que celles qui président aux combinaisons des substances solides ou liquides. Or on remarque que dans les gaz, soit simples, soit composés, les particules sont séparées et écartées les unes des autres par la force expansive de la chaleur, à des distances beaucoup plus grandes que celles où les forces d'affinité et de cohésion exercent leur action; il en résulte que ces distances ne dépendent que de la température et de la pression que supportent les gaz. La pression et la température devenant égales, les particules de tous les gaz doivent être placées toutes à la même distance et se trouver en même nombre sous le même volume, quelle que soit leur nature. Les phénomènes de proportions chimiques conduisent à la même conséquence; s'il en était autrement, la théorie corpusculaire et celle des volumes ne donneraient pas les mêmes résultats.

578. Dans la théorie qui nous occupe, les atomes sont, comme nous l'avons déja dit, les dernières molécules auxquelles on puisse parvenir idéalement par la division mécanique. Quoique nous ne puissions connaître leur forme et leur grandeur, néanmoins tout porte à croire qu'ils sont sphériques, puisque c'est la forme

que la matière affecte quand elle n'est pas soumise à l'influence d'une force étrangère.

La combinaison s'effectue entre les atomes hétérogènes par juxtaposition, en raison d'une attraction réciproque; quand cette force s'exerce entre les molécules homogènes, elle produit la cohésion mécanique. Si l'on n'a aucun moyen de déterminer leurs formes, il n'en est pas de même de leurs poids relatifs. En effet, un atome d'un élément peut se combiner, avons-nous dit, avec un, deux, trois atomes d'un autre élément, etc.; mais on ignore la limite du nombre d'atomes avec lequel il puisse se combiner. Nous savons cependant que dans quelques combinaisons, telles que celle de l'oxigène et du soufre, on ne trouve qu'un atome de radical pour quatre atomes d'oxigène, et qu'en général les combinaisons de ce genre sont rares dans la nature inorganique; car elles s'effectuent assez ordinairement entre un atome de l'élément électro-positif et les multiples de l'élément électro-négatif; souvent aussi deux atomes du premier se combinent avec 3, 5, 7 atomes du second.

Les atomes composés suivent les mêmes lois dans leurs combinaisons que celles qui régissent les combinaisons des corps simples; seulement elles ne s'effectuent pas dans un aussi grand nombre de proportions. Il n'est nullement question ici de la composition des corps organiques, dont nous n'avons pas à nous occuper pour l'instant.

579. Disons deux mots de la méthode employée pour déterminer les poids relatifs des atomes.

On sait qu'il existe trois oxides de plomb, dans lesquels les quantités d'oxigène qu'ils renferment sont entre elles en poids pour la même quantité de métal, comme les nombres 2, 3, 4. On en conclut alors que ces trois oxides résultent de la combinaison d'un atome de plomb avec 2, 3, 4 atomes d'oxigène. Les trois oxides de cuivre renfermant des quantités d'oxigène qui sont comme les nombres 1, 2, 4, on peut dire également qu'ils sont le résultat de la combinaison d'un atome de cuivre

avec 1, 2, 4 atomes d'oxigène; mais on peut les considérer aussi comme formés : le deutoxide, de 1 atome de métal et 1 atome d'oxigène; le protoxide, de 2 atomes de métal et 1 atome d'oxigène; et le tritoxide, de 1 atome de métal et de 2 atomes d'oxigène. On voit par là qu'il existe toujours quelque chose d'arbitraire dans la détermination du nombre réel d'atomes de chaque espèce qui entrent dans une combinaison.

Mais comme on n'a à choisir ordinairement qu'entre peu de nombres, et que l'on a presque toujours des faits qui viennent guider dans le choix que l'on doit faire, il en résulte qu'il y a peu de chances pour ne pas adopter le véritable nombre.

Quand on connaît le nombre d'atomes qui entrent dans une combinaison, rien n'est plus simple que de déterminer leurs poids relatifs. Supposons, par exemple, que la combinaison de deux corps soit le résultat de l'union d'un atome de l'un avec un atome de l'autre, il est bien clair que le rapport du poids des atomes sera le même que celui du poids des deux corps. En prenant l'un des poids pour unité, l'autre exprimera le poids d'un atome en fonction de celui de l'autre. Il sera facile, par ce moyen, en comparant ensemble diverses combinaisons dans lesquelles se trouvent les mêmes corps, de former une table des poids atomiques de tous les corps. L'eau, par exemple, est formée de deux volumes d'hydrogène et d'un volume d'oxigène; on en a conclu qu'un atome d'eau renfermait deux atomes de l'un et un atome de l'autre; or l'analyse donne en poids, suivant MM. Dulong et Berzelius, 1,026 d'oxigène et 0,1376 d'hydrogène. Si donc nous représentons par 1,026 le poids de l'atome de l'oxigène, celui de l'hydrogène sera égal à $0,\frac{1376}{2}$ ou 0,0688; ou bien en représentant le premier par 100, le second le sera également par 6,2398. Dans l'impossibilité où nous sommes ici de donner tous les développements relatifs à la détermination du poids atomique de chaque corps, nous rapportons néanmoins la table des poids atomiques des corps simples, qui a été

formée par M. Berzelius, et dont on a le plus besoin en électro-chimie :

NOMS DES SUBSTANCES	POIDS DE L'ATOME, celui de l'oxigène = 100	NOMS DES SUBSTANCES.	POIDS DE L'ATOME, celui de l'oxigène = 100.
Oxigène	100,00	Argent	1351,607
Hydrogène	6,2898	Mercure	1265,823
Azote	88,5185	Cuivre	395,695
Soufre	201,165	Urane	2711,358
Phosphore	196,143	Bismuth	1338,377
Chlore	221,326	Étain	735,294
Iode	789,750	Plomb	1294,498
Brome	489,153	Cadmium	696,767
Fluor	116,900	Zinc	403,226
Carbone	76,438	Nickel	369,675
Bore	136,204	Cobalt	368,991
Silicium	277,312	Fer	339,205
Selenium	494,583	Manganèse	345,887
Arsenic	470,042	Cérium	574,696
Chrome	351,815	Thorium	844,900
Vanadium	855,840	Zirconium	420,201
Molybdène	598,520	Yttrium	402,514
Tungstène	1183,900	Glucium	331,261
Antimoine	806,452	Aluminium	171,166
Tellure	806,452	Magnésium	158,352
Tantale	1153,715	Calcium	256,019
Titane	303,662	Strontium	547,285
Or	1243,013	Barium	856,880
Osmium	1244,487	Ammonium	113,477
Iridium	1233,499	Lithium	80,375
Platine	1233,499	Sodium	290,897
Palladium	665,899	Potassium	489,794
Rhodium	651,387		

A part quelques idées systématiques jetées en avant par le docteur Wollaston, nous n'avons parlé encore que de la combinaison des atomes, et des lois qui s'y rapportent, et nullement de leur mode de groupement, en s'appuyant sur ces mêmes lois; c'est cette lacune dans la science que M. Ampère a essayé de remplir.

§ III. *Théorie cristallo-atomique de M. Ampère.*

580. Les proportions simples que l'on observe dans les combinaisons, entre le volume d'un gaz composé et ceux des gaz composants, ont fait naître l'idée à M. Ampère d'une théorie (1) ingénieuse pour expliquer les formes

(1) Ann. de Chimie, t. xc, p. 43.

cristallines des corps, et faire connaître, en raison des conditions auxquelles sont assujéties ces formes, si une combinaison est possible ou non. On admet généralement que les dernières particules des corps sont tenues, par des forces attractives et répulsives qui leur sont propres, à des distances infiniment grandes relativement à leurs dimensions; dès lors leurs formes ne peuvent avoir aucune influence sur les propriétés de ces corps, lesquelles doivent dépendre du nombre et du groupement des molécules. M. Ampère admet en outre que les particules sont formées chacune de plusieurs molécules; que l'assemblage d'un nombre déterminé de molécules, dans une situation aussi déterminée, renfermant entre elles un espace incomparablement plus grand que le volume des molécules, et tout espace ayant nécessairement trois dimensions, il est nécessaire que chaque particule soit formée au moins de quatre molécules; car on ne peut renfermer un espace avec moins de quatre plans, passant chacun par les centres de gravité de trois de ces molécules. Si les particules renferment un plus grand nombre d'atomes, les plans qui limitent leur volume passent chacun par les centres de gravité de trois atomes, et laissent d'un même côté tous les autres atomes; on forme ainsi des polyèdres qui représentent les diverses particules des corps.

M. Ampère, pour arriver à la détermination des formes polyédriques des particules, s'appuie sur le clivage et le rapport qui existe entre le volume du gaz composé et ceux des gaz composants; il s'appuie, en outre, sur l'hypothèse que dans les gaz soit simples, soit composés, les particules sont séparées et écartées les unes des autres par la force expansive de la chaleur à des distances beaucoup plus grandes que celles où les forces d'affinité et de cohésion exercent leur action; de sorte que ces distances ne dépendent que de la température et de la pression que supportent les gaz, et qu'à des pressions et des températures égales les particules de tous les gaz sont placées à la même distance. D'après cela, le nom-

bre des particules doit être proportionnel au volume des gaz; cela posé, il suffit de connaître les volumes à l'état de gaz d'un composé et de ses parties constituantes, pour savoir combien une particule de ce composé contient de particules ou de portions de particules de ses composantes. Par exemple, un volume de gaz nitreux étant composé d'un $\frac{1}{2}$ volume d'oxigène et de $\frac{1}{2}$ volume d'azote, une particule de gaz nitreux sera donc formée d'une demi-particule d'oxigène et d'une demi-particule d'azote; de même, le gaz formé par la combinaison du chlore et de l'oxide de carbone sera formé d'une particule de chlore et d'une particule de carbone. Une particule d'eau renfermera donc une particule d'hydrogène et une demi-particule d'oxigène; une particule de gaz oxide d'azote contiendra une particule entière d'azote et une demi-particule d'oxigène; une particule de gaz ammoniac une $\frac{1}{2}$ particule d'azote et une particule et demie d'hydrogène. Mais comme les atomes sont indivisibles, pour éviter d'avoir des demi-particules, M. Ampère suppose que les particules des gaz simples, tels que l'oxigène, l'hydrogène, l'azote, etc., sont composées d'un nombre pair d'atomes suffisant pour que toutes les combinaisons connues satisfassent à cette condition. La supposition la plus simple est d'admettre que les particules de ces gaz sont composées de quatre molécules; d'après cela, la particule de gaz nitreux sera formée de quatre molécules, deux d'oxigène et deux d'azote; celle de gaz oxide d'azote, de six molécules, quatre d'azote et deux d'oxigène; celle de la vapeur d'eau, de six molécules, quatre d'hydrogène et deux d'oxigène; et celle du gaz ammoniacal, de huit molécules, six d'hydrogène et deux d'azote.

Quant à la particule du chlore, pour rendre raison des phénomènes que présentent ses combinaisons, il faut admettre qu'elle soit composée de huit molécules. En partant de ce principe, il montre comment le tétraèdre, l'octaèdre, le parallélipipède, le prisme, l'octaèdre et le dodécaèdre rhomboïdal peuvent être formés avec 4, 6,

8, 12 et 14 atomes. Prenons d'abord deux atomes réunis par une même ligne et deux autres atomes disposés de la même manière, dans le même plan, de manière que les deux lignes se coupent en deux parties égales à angles droits; si l'on écarte ces deux lignes, en les tenant toujours dans une position parallèle, on aura un tétraèdre régulier quand, les deux lignes étant égales, on les aura écartées l'une de l'autre à une distance qui soit à la longueur $:: 1 : \sqrt{2}$.

Si l'on conçoit maintenant trois atomes joints par des lignes formant un triangle quelconque, et qu'on place dans le même plan un autre triangle égal au premier, et dont la situation soit telle que les deux triangles aient leur centre de gravité au même point et leurs côtés égaux respectivement parallèles, en écartant ces deux triangles de manière que les côtés restent constamment parallèles à leur position primitive, on obtient les six sommets d'un octaèdre, qui ne sera régulier que dans le cas où les triangles seront équilatéraux, et qu'on les aura écartés perpendiculairement à leur plan d'une quantité qui soit à leur côté $:: \sqrt{2} : \sqrt{3}$.

581. En suivant la même marche, M. Ampère a montré qu'un parallélipipède est formé de la réunion de deux tétraèdres; si ceux-ci sont réguliers, le parallélipipède devient un cube; qu'un prisme hexaèdre peut provenir de la réunion de deux octaèdres, et qu'en combinant ensemble deux tétraèdres et un octaèdre, on obtient un dodécaèdre, etc. En combinant ainsi plusieurs formes ensemble, il est parvenu aux résultats suivants : l'octaèdre réuni d'une certaine manière avec le tétraèdre donne un hexadécaèdre formé de quatre faces triangulaires équilatérales et douze isocèles; deux octaèdres réunis en prisme hexaèdre peuvent se joindre à deux tétraèdres formant un cube, et donner un polyèdre à vingt sommets, composé de trente faces, savoir six parallélogrammes rectangles et vingt-quatre triangles isocèles; ainsi de suite. M. Ampère, en continuant ce mode de combinaison, est parvenu à obtenir pour formes

primitives des molécules, des polyèdres de cinquante-quatre, de soixante-six et de quatre-vingts faces, qui représentent par conséquent les divers arrangements des atomes de tous les corps, dont le nombre est déterminé par l'expérience. Bien entendu que, suivant cette théorie, une combinaison n'est possible entre deux corps qu'autant que leurs particules en se réunissant forment un polyèdre symétrique ou régulier, compris dans le tableau annexé au Mémoire, dans lequel se trouvent développées les considérations que nous présentons ici. M. Ampère ne s'est pas borné à jeter en avant des idées théoriques; il a montré dans plusieurs cas, que les résultats de l'expérience s'accordaient parfaitement avec la manière dont il conçoit l'arrangement des atomes dans les combinaïsons. Nous renvoyons à son Mémoire rempli d'aperçus ingénieux pour toutes les applications relatives à sa théorie.

§ IV. *Idées de M. Gaudin sur la structure intime des corps inorganiques.*

582. M. Gaudin, guidé par la considération mise en avant par M. Ampère et d'autres physiciens, que la plupart des propriétés physiques des corps dépendent seulement du nombre et du groupement de leurs atomes, a cherché à vérifier cette conjecture dans un grand nombre de cas, mais il a cru convenable de s'occuper d'abord de la forme des molécules des corps auxquelles M. Ampère a donné le nom de particules et qui sont formées de la réunion de plusieurs atomes. En conséquence, il s'est attaché à voir s'il n'était pas possible de représenter cette forme par des polyèdres moins compliqués que ceux qui ont été attribués par M. Ampère à ces mêmes particules, tout en évitant les demi-atomes. Suivant lui, les atomes sont sphériques; ils ne se tiennent jamais en contact, et la distance qui les sépare varie en raison des oscillations qu'ils ne cessent de faire. Quand ils se groupent, ils se mettent tous en commun, de manière à satisfaire à la loi de symétrie.

Il y a combinaison quand les molécules se pénètrent, et cristallisation lorsqu'il y a seulement juxtaposition. Dans le groupement, les atomes les plus pesants, en raison de la pesanteur, occupent le centre; mais cette force est dominée par une autre, l'affinité, sur laquelle il ne s'explique pas.

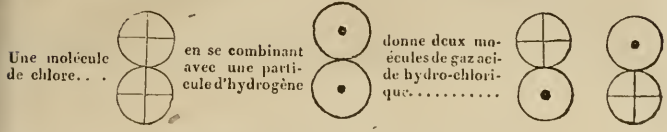
Un volume de chlore, en se combinant avec un volume d'hydrogène, donnant deux volumes de gaz acide hydro-chlorique, il faut donc qu'un atome, ou une particule de chlore, en se combinant avec un atome ou une particule d'hydrogène, produise deux atomes ou deux particules de gaz acide hydro-chlorique; or, cette combinaison ne peut s'effectuer qu'en admettant, ou que les atomes sont susceptibles de se diviser en deux, ou que cette propriété appartient aux particules; or, comme l'atome est indivisible, il faut admettre, de toute nécessité, que cette propriété appartient aux particules. De là, la nécessité de la composer d'un nombre pair d'atomes: M. Gaudin a fixé ce nombre à deux pour les particules de chlore et d'hydrogène.

De même, un volume de gaz oxigène, en se combinant avec deux volumes de gaz hydrogène, donne deux volumes de vapeur d'eau; il faut donc que chaque atome d'oxigène s'approprie deux atomes d'hydrogène: la particule d'eau sera donc composée de trois atomes, ce qui exige que la particule d'oxigène soit biatomique. C'est par des considérations du même genre que M. Gaudin a trouvé que les particules du carbone et des métaux sont atomiques; celles du phosphore à l'état de vapeur tétratomiques au moins, et celles du soufre hexatomiques. Nous ne pouvons nous étendre davantage sur cette théorie sans nous écarter du plan que nous avons suivi jusqu'ici. Nous ferons seulement observer que le groupement imaginé par M. Gaudin satisfait à la loi de symétrie et à la composition atomique des corps; considérations qui doivent être mises en première ligne dans de semblables investigations.

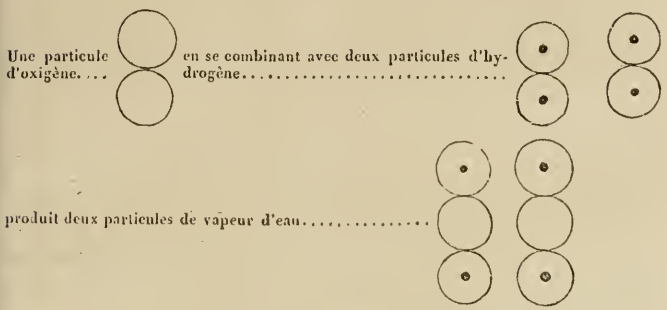
Nous allons donner ci-après quelques exemples de

groupements de particules, suivant le système de M. Gaudin:

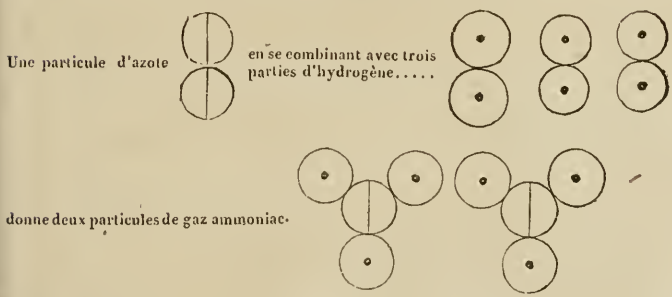
Composition du gaz acide hydro-chlorique.



Composition de la vapeur d'eau.



Composition du gaz ammoniac.



Nous ferons remarquer au lecteur qu'il n'a été nullement question jusqu'ici de la nature des forces qui constituent les affinités et l'agrégation. C'est ce dont nous allons nous occuper maintenant.

CHAPITRE II.

DES PREMIÈRES THÉORIES ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ 1er. *De la chaleur et de la lumière dégagées dans les actions chimiques ; principes de Davy et de M. Berzelius à cet égard.*

583. On croyait jadis qu'il n'y avait production de chaleur que dans l'acte même de la combustion ; mais aujourd'hui, on sait que cette production a lieu dans tous les cas où il y a combinaison chimique, comme celle du chlore ou du soufre avec les métaux en est un exemple frappant. On sait en outre que la lumière est produite dans certains cas où il n'y a pas d'action chimique, mais seulement changement dans la constitution des molécules, comme la zircone, l'oxide de chrome et d'autres corps le prouvent, lorsqu'on les expose à une forte température. Quand ce phénomène se produit, ces corps perdent momentanément la faculté de former des combinaisons avec les acides. Nous reviendrons sur ce sujet en traitant de la phosphorescence. Au surplus, la lumière et la chaleur, quelle que soit la théorie que l'on adopte, proviennent de la même cause. Quelle est la nature de cette cause? Tout porte à croire qu'elle est électrique, comme les développements que nous allons présenter, dans ce Chapitre et surtout dans les Chapitres suivants, tendent à le prouver.

584. Davy est le premier qui ait entrepris une série d'expériences pour prouver l'origine électrique de la chaleur dans les combinaisons. Quoiqu'il ait méconnu les effets électriques qui ont lieu dans les actions chimiques

et qu'il s'en soit tenu à la théorie du contact, néanmoins les conséquences qu'il a tirées de ses observations, relativement à l'origine électrique de la chaleur, conséquences qui avaient été entrevues depuis long-temps par d'autres physiciens, ne peuvent manquer de servir de base à toute théorie électro-chimique.

Suivant Davy, parmi les substances qui se combinent chimiquement, toutes celles dont les énergies électriques sont bien connues, manifestent des états électriques opposés par leur contact mutuel; ainsi le cuivre et le zinc, l'or et le mercure, le soufre et les métaux, les substances acides et alcalines, donnent des résultats conformes à ce principe. Les substances acides, ou qui se comportent comme telles dans les combinaisons, prennent l'électricité négative, et les substances alcalines l'électricité positive. Enfin, l'état électrique de tension augmentant avec la température, si l'on suppose deux corps dont les molécules se trouvent dans deux états électriques différents, qui soient assez exaltés pour leur donner une force attractive supérieure au pouvoir de l'agrégation, il éclate du feu par suite de la réunion des deux électricités, comme dans la décharge de la bouteille de Leyde, et il se forme alors une combinaison. Suivant cette manière de voir, tous les signes d'électricité cessent aussitôt que les actions chimiques commencent. On ne voit pas quelle est la cause qui retient unies les unes aux autres les molécules dans les combinaisons.

585. M. Berzelius a repris cette théorie, lui a donné de nouveaux développements et en a fait la base de la chimie moderne. Comme Davy, il attribue la chaleur produite dans les combinaisons, à la réunion des deux électricités dégagées dans le contact. Il a cherché ensuite à classer les corps, en corps électro-positifs et corps électro-négatifs, mais cette classification est fondée plutôt sur des considérations chimiques que sur des résultats électro-chimiques.

Nous ne connaissons, en électro-chimie, que deux moyens de constater, dans une combinaison de deux corps, lequel des deux joue le rôle d'acide par rapport à l'autre; c'est de voir, quand ils réagissent l'un sur l'autre à l'état liquide, quel est celui qui prend l'électricité positive. Si, en soumettant ensuite la combinaison à l'action d'une pile, le même corps se rend au pôle positif, on sera certain alors qu'il est bien l'élément électro-négatif.

Quoi qu'il en soit, nous donnons ici la table telle qu'elle a été arrêtée par M. Berzelius. Les corps les plus électro-négatifs sont en tête, et les corps les plus électro-positifs viennent ensuite.

Première série. Oxigène, soufre, nitrogène, fluor, chlore, brome, iode, sélénium, phosphore, arsenic, chrome, molybdène, tunsgtène, bore, carbone, antimoine, tellure, tantale, titane, silicium, hydrogène.

Deuxième série. Or, osmium, iridium, platine, rhodium, palladium, mercure, argent, cuivre, urane, bismuth, étain, plomb, cadmium, cobalt, nickel, fer, zinc, manganèse, cérium, thorium, zirconium, aluminium, ytrium, glucium, magnésium, calcium, strontium, barium, lithium, sodium, potassium.

586. M. Berzelius a discuté ensuite ces deux points: comment l'électricité se trouve-t-elle dans les corps? comment un corps est-il électro-positif ou électro-négatif, ou tantôt l'un et tantôt l'autre? Un corps, suivant ce grand chimiste, ne devient jamais électrique sans que les deux principes électriques se manifestent, soit dans différentes parties du corps, soit du moins dans sa sphère.

Quand les deux électricités se montrent séparément dans un corps où il y a continuité, elles se trouvent toujours placées dans deux points opposés, comme la tourmaline et quelques autres cristaux nous en offrent l'exemple. Mais comme les moindres parties d'un corps possèdent les mêmes propriétés de ce corps, il est con-

duit par là à admettre que les corps sont composés d'atomes qui possèdent chacun une polarité électrique telle, que chaque pôle n'a pas la même intensité d'action. C'est de cette polarité que dépendent, selon lui, les phénomènes chimiques, et dont l'inégale intensité est la cause de la différence de force avec laquelle s'exercent les affinités. Suivant cette manière de concevoir les phénomènes chimiques, les corps sont électro-positifs ou électro-négatifs, selon que l'un ou l'autre pôle est prédominant. Nous verrons plus loin qu'il ne peut pas en être ainsi.

M. Berzelius fait observer que le degré de polarité doit dépendre beaucoup de la température, qui accroît son intensité et dont les modifications lui font subir des changements. Ainsi, un grand nombre de corps, qui paraissent n'avoir qu'une très-faible polarité à la température ordinaire de l'atmosphère, en acquièrent une très-forte au degré de la chaleur rouge, comme le charbon en est un exemple. Cette propriété n'est pas générale, car il y a des corps qui la perdent à une température élevée. Une combinaison ne peut s'effectuer qu'autant que les particules polarisées d'un des corps ou des deux corps se meuvent avec assez de facilité pour qu'elles tournent leurs pôles opposés; ce qui exige qu'un des corps au moins soit à l'état liquide ou fluide. Cette condition, comme on sait, est indispensable pour que la combinaison ait lieu.

587. M. Berzelius ne dit que peu de mots sur la force de cohésion, de cette force qui retient en contact les molécules similaires des corps; c'est là, il faut l'avouer, la pierre d'achoppement des théories électro-chimiques qui ont été imaginées jusqu'à ce jour. Il avance cependant comme une chose probable, que les atomes des corps, conservant après leur combinaison un certain degré de polarité, cherchent à se rejoindre par leurs pôles opposés; il compare la cohésion à ce qui se passe quand le plateau de l'électrophore électrisé po-

sitivement est retenu par l'électricité négative du gâteau, sans qu'il y ait perte d'électricité d'un côté ou de l'autre; la combinaison chimique, suivant lui, pourrait être comparée à la neutralisation des deux électricités opposées, lorsque la plaque inférieure du plateau est mise en communication avec le plateau supérieur, ce qui produit toujours une décharge d'électricité. En partant de ce principe, M. Berzelius fait observer que l'on ne peut cependant expliquer l'inégalité de cohésion dans les corps différents ou dans le même corps, suivant diverses circonstances, ni la dureté, la ductilité, la ténacité et même l'état gazeux. Il ajoute qu'il ne voit pas comment on pourrait rendre compte de la cohésion, en s'appuyant sur l'électricité considérée comme force première et universelle. Telles sont les bases de la théorie de l'illustre chimiste suédois que nous avons présentées, sans en omettre aucune.

§ II. *Vues théoriques de M. Ampère.*

588. La théorie que nous venons de présenter satisfaisait aux besoins de la science à l'époque où elle parut; mais le cercle de nos connaissances s'étant considérablement accru depuis, les bases ont dû être modifiées, de manière à expliquer en même temps la permanence du contact des atomes dans les combinaisons. M. Ampère (1) a essayé de rendre compte de cette permanence en admettant que les molécules des corps sont dans un état électrique permanent dépendant de leur nature; qu'une molécule d'oxigène, par exemple, étant constamment dans l'état électro-négatif, décompose le fluide neutre environnant, en repousse l'électricité négative et en attire l'électricité positive, qui forme autour d'elle une sorte d'atmosphère qui dissimule l'électricité propre à la molécule; effet du même genre que celui

(1) Journal de Phys., cahier d'octobre 1821.

que présente une bouteille de Leyde chargée intérieurement d'électricité négative et dont la garniture extérieure communique avec le réservoir commun. Par la même raison, une molécule d'hydrogène doit être entourée d'une atmosphère d'électricité négative. Il en est de même de tous les corps, ceux qui ont la tendance acide se trouvant dans le cas de l'oxigène, et ceux qui ont la tendance alcaline dans le cas de l'hydrogène. Supposons maintenant que des molécules acides et alcalines soient en contact; dans le sel neutre qui en résultera, l'électricité propre à chacune d'elles étant dissimulée par l'autre, les molécules de ce sel n'auront plus besoin d'atmosphère, celles de l'acide et de l'alcali laisseront donc échapper l'électricité qui les entourait; une partie des deux électricités se combinera dans la dissolution, et il en résultera une élévation de température; mais si l'acide et l'alcali communiquent avec les deux extrémités du fil d'un multiplicateur, une partie suivra ce fil pour s'y rendre, et alors l'électricité positive de l'atmosphère des molécules de l'acide suivra le bout du fil qui communique avec l'acide, comme l'expérience le prouve effectivement.

On a reproché à cette théorie de ne pouvoir expliquer la combinaison de deux corps, tous les deux électro-négatifs ou électro-positifs, puisque deux molécules similaires doivent se repousser. M. Ampère a répondu à cette objection, qu'à la vérité les molécules devaient éprouver une action répulsive, comme celle que l'on remarque entre les molécules semblables des corps, mais que cette action, dans l'un et l'autre cas, était contre-balancée et même détruite jusqu'à un certain point par le pouvoir de l'agrégation, de cette force qui constitue l'attraction universelle, et à laquelle M. Ampère ne paraît pas reconnaître une origine électrique. Nous discuterons dans un autre chapitre le mérite de cette théorie.

589. M. Dumas a ajouté quelques développements à la théorie de M. Ampère. Suivant lui, il n'y a qu'une

seule manière de répondre à l'objection précédente ; c'est d'admettre qu'il n'existe qu'un seul fluide. Si l'on prend effectivement pour unité l'électricité de la terre à sa surface, on pourrait avoir des molécules électrisées au-dessus ou au-dessous de cette électricité : il résulterait de là qu'une molécule à moitié électrisée pourrait être positive, par rapport à celle qui le serait au quart, etc. ; mais cette manière de voir ne peut être admise dans l'état actuel de la science. M. Dumas a signalé une autre difficulté, qu'il a résolue d'une manière satisfaisante : le chlore et l'oxigène, comme on sait, sont négatifs par rapport au calcium ; de plus, relativement à ce corps, l'oxigène doit être plus négatif que le chlore, et cependant on sait que le chlore chasse l'oxigène de l'oxide de calcium : les affinités n'en rendent pas raison non plus ; suivant lui, on peut remonter à la cause de ces effets, en prenant en considération le nombre des molécules, ou les quantités absolues d'électricité qu'elles renferment. Voici l'exemple qu'il cite :

« 1 molécule de chlore est positive à l'égard de « 2, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ molécules d'oxigène ;

« 2 molécules de chlore sont négatives à l'égard « d'une molécule d'oxigène.

« En effet, dans l'oxide du chlore, l'acide chlorique « et l'acide perchlorique, chaque molécule de chlore est « combinée respectivement avec 2, $2\frac{1}{2}$, $3\frac{1}{2}$ molécules « d'oxigène, et dans la décomposition de l'oxide de cal- « cium par le chlore, chaque molécule d'oxigène est « remplacée par deux molécules de chlore. Par consé- « quent, si l'on représente par 2 l'électricité négative « de l'oxigène, et par 3 celle du chlore, on aura en « présence, dans les oxides de chlore, 3 contre 4, 5 et « 7 ; le chlore sera donc positif. »

Mais cette explication ne peut suffire ; car le chlore ne chasse pas toujours l'oxigène, même quand deux molécules doivent en remplacer une seule, comme on le voit dans l'action du chlore sur l'alumine, la silice, etc.

Ces considérations nous montrent que les actions chimiques ne dépendent pas seulement des rapports électriques des molécules, mais encore du nombre de ces molécules, de leurs positions relatives, etc.

CHAPITRE III.

THÉORIES DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ Ier. *Théorie de Grotthuss.*

590. GROTTHUSS est le premier qui ait donné une théorie satisfaisante des décompositions chimiques opérées à l'aide de la pile (1). Il adopta, en principe, que l'action du courant détermine, entre les particules de l'eau ou des substances soumises à son action, une polarité électrique semblable à celle que nous présente la pile, par suite de laquelle l'hydrogène devient positif et l'oxigène négatif. Il résulte de là que le pôle négatif attire l'hydrogène et repousse l'oxigène, tandis que le pôle positif attire l'oxigène et repousse l'hydrogène; mais ces différentes actions ne peuvent avoir lieu qu'autant que les molécules élémentaires réagissent les unes sur les autres, d'une manière analogue, jusqu'à leur arrivée sur les lames décomposantes, c'est-à-dire que la molécule oxigène d'une molécule d'eau, en se rendant sur la lame positive, abandonne les deux molécules d'hydrogène avec lesquelles elle est combinée, pour se recombiner momentanément avec les deux molécules d'hydrogène de la molécule d'eau contiguë,

(1) Annales de Chimie, t. LXVIII, p. 54.

située du côté positif, et ainsi de suite, jusqu'à la lame positive, où elle devient libre. Les deux molécules d'hydrogène, que nous avons considérées primitivement, éprouvent une action analogue de la molécule d'oxigène appartenant à la molécule d'eau contiguë, qui est située du côté négatif; de sorte qu'elles arrivent sur la lame négative après avoir éprouvé une suite de décompositions et de recompositions successives. Suivant cette théorie, quand le courant traverse l'eau, chacun de ses deux principes composants est sollicité par une force attractive et par une force répulsive dont les centres d'action se trouvent réciproquement opposés et qui, agissant dans le même sens, déterminent la décomposition de ce liquide. L'action exercée par chaque force sur une molécule d'eau située sur la route du courant, étant en raison inverse du carré de la distance à laquelle elle s'exerce, et la distance d'une molécule quelconque à l'un des pôles ne pouvant jamais diminuer sans que la distance à l'autre pôle croisse proportionnellement, il en résulte que chacun des deux éléments de cette molécule est sollicité par une force constante, qui est la résultante de deux forces, l'une attractive et l'autre répulsive.

Il résulte évidemment de cette théorie, qu'il n'y a que les molécules d'eau situées aux extrémités des fils conducteurs qui sont seules décomposées, tandis que les molécules intermédiaires se bornent à échanger réciproquement et alternativement leurs principes constituants.

Ce que nous venons de dire pour l'eau soumise à l'action d'un courant, s'applique à toute autre substance dissoute dans ce liquide.

Davy (1) a rapporté d'abord les effets décomposants aux attractions des pôles; plus tard, dans ses *Éléments de chimie*, il a adopté la manière de voir de Grotthuss,

(1) Trans. phil., 1807, p. 28, 29 et 30.

puisqu'il parle des grands pouvoirs attractifs des surfaces des pôles, et de la probabilité d'une succession de décompositions et de recompositions dans tout le fluide. Suivant lui, les actions attractives et répulsives peuvent être transmises de la surface métallique sur toute l'étendue du liquide soumis à l'action de la pile, d'une molécule à une autre de même genre, et diminuant d'intensité, depuis les pôles jusqu'au milieu, qui se trouve à l'état neutre.

§ II. *Théorie de M. Delarive.*

591. M. Delarive (1) fait dépendre les décompositions électro-chimiques de l'eau et de toute autre substance, d'une combinaison de leurs éléments avec les électricités partant des pôles, de manière à faire naître un jeu d'affinités entre la matière et l'électricité; le courant positif en se combinant avec l'hydrogène ou les bases qu'il rencontre, laisse en liberté l'oxigène et les acides, et emporte au pôle négatif les substances auxquelles il est uni; mais arrivée au terme de sa course, l'électricité abandonne sur la surface du métal les substances qu'elle transporte pour pénétrer elle-même dans le métal, qui ne peut leur donner passage. L'électricité du pôle négatif, qui met également en liberté l'hydrogène et les bases, se combine avec l'oxigène et les acides, les entraîne vers le pôle positif et les y dépose.

M. Delarive pense que les portions qui sont décomposées sont celles qui se trouvent contiguës aux deux pôles, et que les portions qui sont au milieu n'éprouvent aucun effet et ne servent seulement qu'à conduire l'électricité, ainsi que les éléments de la matière qui sont transportés aux pôles. Le physicien génois fait observer que les décompositions électro-chimiques ne sont pas dues à la tension électrique dans laquelle le liquide est

(1) Annales de Chimie et de Physique, t. XXVIII.

supposé se constituer, attendu qu'il n'y a aucune décomposition quand on plonge uniquement dans le liquide l'un des pôles de la pile ou les deux pôles opposés de deux piles différentes. Voici les principaux faits sur lesquels repose sa théorie:

592. Pour prouver que la masse totale du liquide ne se partage pas, comme on l'a supposé, en deux portions, l'une positive et l'autre négative, M. Delarive a opéré la décomposition dans un vase séparé en trois compartiments par des diaphragmes en vessie, qui empêchaient le mélange des solutions salines contenues dans chacun d'eux. Il a versé dans chaque compartiment une solution de chlorure de sodium colorée en bleu. Ayant plongé les deux électrodes dans les cases extrêmes, il a trouvé qu'il n'y avait que les liquides de ces cases qui eussent changé de couleur; la couleur du liquide contenu dans la case du milieu n'avait éprouvé aucune altération sensible.

M. Delarive s'est demandé quelle était la molécule d'eau décomposée; était-ce la molécule d'eau en contact avec le pôle plus, ou bien celle qui se trouvait en contact avec le pôle moins? Étaient-ce toutes les deux ou une molécule intermédiaire? Il prit un tube de verre, d'un pouce de diamètre environ, fermé à ses deux extrémités et partagé, comme ci-dessus, en trois compartiments. Dans chaque compartiment plongeait un tube vertical, d'un diamètre assez fin, servant à indiquer les différences de niveau survenues dans le liquide de chaque compartiment. Les deux électrodes ayant été placées dans les deux cases extrêmes, il obtint les résultats suivants: l'eau pure ne donna aucun résultat, à cause de l'effet observé par M. Porrett; les solutions salines présentèrent aussi un inconvénient, en raison de la différence qui existe entre le volume occupé dans la solution par la base transportée à l'un des pôles et le volume occupé par l'acide à l'autre pôle. Néanmoins, M. Delarive a déduit de ses expériences que ce sont les portions du liquide contiguës à chacun des pôles qui sont décomposées.

Il a confirmé encore ce résultat en opérant avec des conducteurs liquides hétérogènes, et mettant, par exemple, une solution d'hydrochlorate d'ammoniaque dans les cases extrêmes, et une solution de sulfate de zinc dans la case intermédiaire; dans ce cas les éléments de la solution ammoniacale ont été seuls séparés; le contraire a eu lieu en plaçant une solution de sulfate de zinc dans les cases extrêmes.

M. Delarive s'est demandé ensuite ce que devenaient l'hydrogène et l'alcali des molécules décomposées au pôle positif, l'oxigène et l'acide des molécules décomposées au pôle négatif. C'est ici où, après avoir combattu les théories qui ont été mises en avant par divers auteurs, il a senti la nécessité d'admettre l'existence de deux influences ou courants, l'un partant du pôle positif, l'autre du pôle négatif, influences qui, considérées dans leur ensemble, constituent le courant voltaïque. Le courant qui sort du pôle plus, réagit sur la molécule contiguë, s'empare de son hydrogène, si c'est de l'eau, de sa base, si c'est un sel, et laisse l'oxigène et l'acide, qui alors se dégagent. Ce courant, en se rendant au pôle négatif par une force d'impulsion, transporte avec lui, à travers le conducteur humide, comme nous l'avons dit, les molécules avec lesquelles il est combiné; mais ne pouvant traverser avec elles un conducteur solide, il les abandonne en entrant dans le pôle positif. Le courant négatif agit de la même manière sur l'oxigène et l'acide de la molécule qu'il rencontre en sortant du pôle négatif.

D'après cet exposé, M. Delarive fait donc dépendre les phénomènes de décomposition et de transport par la pile, d'un jeu d'affinité entre les éléments des corps et les courants électriques.

Il s'est demandé ensuite en vertu de quelle force peut avoir lieu cette attraction des courants pour les molécules; mais il n'a pas cherché à résoudre cette question faute de documents convenables.

CHAPITRE IV.

DOCTRINE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE M. FARADAY.

§ Ier. *Sur la quantité d'électricité que l'on suppose unie aux atomes de la matière.*

593. Nous ignorons ce que c'est qu'un atome et en quoi consiste l'affinité chimique; cependant un grand nombre de faits nous montrent que les forces qui la constituent ont des rapports intimes avec les pouvoirs électriques qui se manifestent à l'instant où elles s'exercent. C'est à la recherche de ces rapports que nous devons nous attacher, si nous voulons arriver à la connaissance des affinités. Ce qui tend encore à assimiler leurs actions à celles des forces électriques, c'est le fait bien constaté que les pouvoirs chimiques sont définis comme l'action chimique de l'électricité.

M. Faraday a cherché si l'on ne pourrait pas déterminer la quantité d'électricité que l'on suppose unie aux atomes de la matière; pour y arriver, il fait observer qu'une quantité considérable d'électricité, sous forme de courant, ne décompose que peu d'éléments; par exemple, un grain d'eau acidulée exige, pour sa décomposition, un courant électrique continu pendant 3 minutes 45 secondes, lequel est suffisant pour maintenir à la chaleur rouge, dans l'air, pendant le même temps, un fil de platine de $\frac{1}{104}$ de pouce de diamètre. Quelle prodigieuse quantité d'électricité mise en mouvement pendant ce temps, quand on songe à

son excessive vitesse ! Si l'on considère, d'un autre côté, suivant M. Faraday, que le rapport entre la conduction de l'électricité et la décomposition de l'eau est si intime, que l'une ne peut avoir lieu sans l'autre; que pour une quantité définie donnée d'électricité qui passe, il y a également une quantité définie et constante d'eau ou de toute autre matière de décomposée, et que l'agent électrique est employé seulement à vaincre les pouvoirs électro-chimiques dans les corps soumis à son action (ce qui permet de tirer la conséquence que la quantité qui passe est au moins égale à celle que possèdent les molécules séparées; c'est-à-dire que si le pouvoir électrique qui tient combinés les éléments d'un grain d'eau pouvait devenir un courant, il serait égal au courant qui est nécessaire pour séparer les éléments du grain d'eau), n'est-on pas en droit de conclure de toutes ces considérations que le pouvoir électrique, qui appartient naturellement aux particules de la matière, est tellement intense, que l'esprit ne peut s'en faire une idée nette?

594. En supputant la quantité d'électricité libre qui correspond à celle qui est fournie par un courant dans un temps donné, M. Faraday (1) pense, d'après les expériences qu'il a faites, qu'il serait nécessaire d'employer 800,000 charges d'une batterie électrique, composée de 8 jarres égales, de 8 pouces de hauteur et de 23 pouces de circonférence, et chargée avec trente tours d'un plateau d'une puissante machine électrique, pour remplacer la quantité d'électricité qu'il faudrait pour décomposer une simple molécule d'eau, c'est-à-dire pour égaler celle qui est naturellement associée aux éléments de cette molécule d'eau, et qui constitue leur mutuelle affinité chimique. Nous reviendrons sur cette évaluation, en parlant de la vitesse de l'électricité dans la décharge de la pile. L'expérience suivante tend à prouver la haute condition électrique des molécules de la matière, et

(1) Transact. phil., 1834, p. 119.

l'identité de leur quantité d'électricité avec celle qui est nécessaire pour leur séparation.

M. Faraday prit deux plaques de zinc amalgamées bien sèches : l'une, que nous appellerons A, pesait 163,1 grains; l'autre B, 148,3 grains. Elles avaient 5 pouces de long environ et 0,4 pouce de largeur. Une cuve pneumato-chimique ayant été remplie d'eau contenant $\frac{1}{20}$ d'acide sulfurique, ainsi qu'une éprouvette à gaz qui fut renversée dedans, une plaque de platine, à peu près de la même longueur, mais trois fois aussi large que les plaques de zinc, fut placée dans l'éprouvette; la plaque de zinc fut aussi introduite dedans et mise en contact avec le platine; et dans le même instant la plaque B fut placée dans l'eau acidulée de la cuve, hors de tout contact métallique.

Il se manifesta une forte action dans l'éprouvette, par suite du contact des plaques de zinc et de platine; du gaz hydrogène s'éleva du platine dans la partie supérieure de l'éprouvette, et l'on ne remarqua aucun dégagement de gaz sur la plaque de zinc amalgamée : au bout de 10 minutes, l'expérience fut interrompue. Les plaques furent lavées, séchées, et pesées de nouveau : la plaque B pesait le même poids qu'au commencement de l'expérience; tandis que la plaque A ne pesait plus que 154,65 grains, 8,459 de zinc ayant été dissous pendant l'expérience. Le volume du gaz hydrogène était de 12,5 pouces cubiques, la température étant de 52,0 Fahr. et le baromètre marquant 29,2 pouces. Ce volume, ramené à une température et une pression moyennes, était de 12,1453 pouces cubiques; en ajoutant à ce nombre sa moitié pour l'oxigène qui y correspond dans l'eau décomposée, on a pour la quantité d'oxigène et d'hydrogène développée dans la décomposition de l'eau par le courant électrique 18,232 pouces. Ce volume correspond à 2,3535556 grains d'eau décomposée; si l'on compare ce nombre à la quantité de zinc qui a été oxidée, laquelle est de 8,45, on a le rapport 9 : 32,31. Si donc 9 est le nombre équivalent de l'eau, celui du

zinc sera 32,5. Ce résultat indique donc qu'un équivalent de zinc oxidé correspond à un équivalent d'eau décomposée.

Dans cette expérience l'eau a été décomposée voltaïquement, et non à la manière des décompositions chimiques, attendu que l'oxigène et l'hydrogène ont été transportés à leurs pôles respectifs, et que la plaque B, considérée isolément, n'a éprouvé aucune altération dans l'eau acidulée. La conséquence qu'en tire M. Faraday est que l'action chimique sur un équivalent du zinc, dans un simple cercle voltaïque, est capable de développer une quantité suffisante d'électricité, sous forme de courant à travers l'eau, pour décomposer un équivalent de cette substance; ces résultats prouvent encore que la quantité d'électricité qui est associée aux particules de la matière et leur donne le pouvoir de se combiner, est capable, lorsqu'elle est sous forme de courant, de séparer ces particules de leur état de combinaison, c'est-à-dire, *que l'électricité qui décompose et celle qui est développée par la décomposition d'un certain volume de matière*, sont semblables.

D'après l'accord que nous reconnaissons entre la théorie des proportions définies et celle de l'affinité électrochimique, on doit considérer les parties équivalentes des corps, comme des volumes qui contiennent d'égales quantités d'électricité, ou qui ont des pouvoirs électriques égaux. Ainsi donc les atomes des corps qui sont équivalents l'un à l'autre dans leur action chimique ordinaire, possèdent des quantités égales d'électricité unies avec eux.

Nous devons ajouter à ce que nous venons de dire que M. Faraday considère, comme Davy et M. Berzelius, que la chaleur et la lumière développées pendant une combinaison puissante, sont la conséquence de la décharge électrique qui a lieu dans cette action. Ce fait est vrai; mais la manifestation de la chaleur et de la lumière est soumise à certaines conditions dont nous parlerons bientôt.

§ II. *Opinion de M. Faraday sur l'électricité produite dans les actions chimiques, et sur les effets du courant métallique.*

595. Le lecteur a pu apprécier déja les services importants que M. Faraday a rendus à l'électricité, d'après l'exposé consciencieux et fidèle que nous avons fait de ses travaux. Nous allons présenter actuellement les résultats qu'il a publiés récemment sur le même sujet (1), parce qu'ils servent de base à la théorie qu'il a donnée des phénomènes électro-chimiques; mais ici nous ne serons plus d'accord avec lui, surtout en ce qui concerne le dégagement de l'électricité, question que nous croyons avoir traitée aussi complétement qu'il était possible de le faire dans l'état actuel de la science (2). La haute estime qu'on accorde justement aux travaux de M. Faraday nous impose l'obligation de n'en omettre aucun, même quand nous ne partageons pas sa manière de voir sur quelques-uns d'entre eux.

M. Faraday admet, comme beaucoup de physiciens, une identité entre la force qui constitue le courant voltaïque et celle qui unit ensemble les éléments des électrolytes. Il partage aussi l'opinion de ceux qui attribuent une origine chimique à la charge de la pile. En cela nous sommes parfaitement d'accord; mais il a voulu appuyer son opinion d'expériences capables de dissiper tous les doutes, sans examiner si de semblables expériences n'avaient pas été faites depuis long-temps, avant qu'il s'occupât de cette question.

596. Cet habile et ingénieux physicien ayant pris deux plaques, l'une de platine et l'autre de zinc amalgamé, il souda un fil de platine *f* à la lame de platine (fig. 126), laquelle fut plongée ainsi que l'autre lame dans le vase

(1) Trans. phil., 2e partie, 1834, p. 425.
(2) Tome II, p. 17 à 90.

C, qui renfermait de l'eau acidulée par l'acide sulfurique et l'acide nitrique. Un morceau de papier tournesol, humecté d'une solution d'iodure de potassium, fut placé sur la lame de zinc en x, et le bout du fil de platine mis en contact avec le papier. L'iodure fut aussitôt décomposé par l'action seule du courant produit dans la réaction du zinc sur le liquide de C; car il n'existait dans l'appareil aucun contact métallique, le platine et le zinc ne communiquant ensemble que par l'intermédiaire d'une bande de papier à réactif. En remplaçant le liquide du vase C par une solution de potasse caustique, les résultats furent les mêmes. Ayant introduit dans le circuit un multiplicateur, l'aiguille fut déviée immédiatement.

597. Nous prendrons la liberté de faire remarquer à M. Faraday que l'expérience relative à la production d'un courant électrique par la réaction d'un acide sur un métal, indépendamment de tout contact métallique, a été faite pour la première fois en 1823, d'une manière non moins décisive (1). Une cuiller de platine, remplie d'acide nitrique très-pur, ayant été fixée à l'un des bouts du fil d'un multiplicateur, et une pince également en platine à l'autre bout, on expérimenta de la manière suivante : « Plaçons entre les branches de la pince une lame « d'or parfaitement pur et enveloppée à moitié d'une « bande de papier pour empêcher le contact des deux « métaux; plongeons cette lame dans l'acide nitrique « privé de gaz nitreux, afin que l'or ne soit pas attaqué, « et faisons l'immersion de manière que le papier touche « aussi à l'acide. L'aiguille aimantée n'est pas déviée « de sa position ordinaire d'équilibre; mais quand l'acide « nitrique renferme du gaz nitreux, le multiplicateur ac- « cuse aussitôt un courant qui provient de la réaction « de l'acide sur l'or. »

Dans un autre mémoire (2) nous nous exprimâmes d'une

(1) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXIV, p. 346.
(2) Annal. de Ch. et de Phys., t. XXVI, p. 177.

manière non moins explicite : « Une lame d'or, envelop-
« pée d'une bande de papier joseph, sera fixée entre les
« deux branches d'une pince de platine adaptée à l'un des
« bouts du fil d'un galvanomètre; on plongera le tout
« dans une capsule de porcelaine remplie d'acide nitri-
« que, et l'on fera communiquer l'autre bout du fil aussi
« en platine avec le même acide; les effets électriques
« seront nuls.....
« mais si l'on ajoute une seule goutte d'acide hydrochlo-
« rique, l'or au même instant est attaqué, et l'aiguille
« aimantée, par sa déviation, annonce que l'acide a pris
« l'électricité positive, et l'or l'électricité négative. » Cette expérience, comme on le voit, était décisive et prouvait bien que le contact métallique n'était pas nécessaire pour la production du courant, puisqu'on voit naître celui-ci quand l'action chimique commence.

M. Faraday ayant placé parallèlement l'une à l'autre deux plaques, l'une de zinc amalgamé, et l'autre de platine (fig. 127), introduisit une goutte d'une dissolution d'acide sulfurique entre deux des extrémités de ces plaques. Il n'y eut d'action chimique à cet endroit qu'autant que les deux plaques étaient réunies, par un corps conducteur, en deux points quelconques.

En enlevant l'acide et introduisant une goutte de solution d'iodure de potassium en x (fig. 128), il obtint la même série d'effets; seulement le courant eut lieu dans une direction opposée. Dans ce cas, suivant M. Faraday, les deux solutions employées sont conductrices; mais le pouvoir conducteur de chacune d'elles est essentiellement lié au pouvoir de décomposition dans un ordre contraire, et par conséquent l'apparition des éléments dans une certaine place montre dans quelle direction a passé le courant. En plaçant les deux solutions aux bouts opposés des plaques, comme dans les deux dernières expériences, le contact métallique ayant lieu en d'autres points, les courants cheminèrent dans des directions opposées : cette disposition permet d'opposer les actions des deux

liquides simultanément l'une à l'autre aux bouts opposés des plaques, chacun servant comme d'un conducteur pour décharger le courant électrique que l'autre tend à engendrer. En maintenant le contact métallique, M. Faraday a trouvé que la solution acide surpassait en force celle de l'autre solution et que son action déterminait par conséquent la direction du courant. La théorie électro-chimique, telle que nous l'avons envisagée jusqu'ici, rend parfaitement compte de ces effets sans avoir recours à d'autres principes. Dans la fig. 127, l'eau acidulée, en agissant sur le zinc, l'oxide prend l'électricité positive et transmet au métal l'électricité négative, de sorte que s'il y a quelque part un contact métallique, le courant doit cheminer comme l'indique la flèche; dans la fig. 128 le courant doit suivre une direction contraire, parce que la solution d'iodure de potassium réagit aussi chimiquement sur le zinc. Nous avons observé mille exemples de ce genre dans les expériences que nous avons faites pour former des combinaisons électro-chimiques.

598. Voici comment M. Faraday conçoit l'effet du contact métallique dans une seule paire de plaques : quand on plonge dans une dissolution d'acide sulfurique une plaque de zinc amalgamé, la force de l'affinité chimique qui se montre entre le métal et le liquide n'est pas assez puissante pour opérer la décomposition de l'eau, quoique cette affinité soit suffisante pour déterminer une condition d'électricité telle qu'en produirait le courant s'il avait un chemin ouvert, lequel courant compléterait les conditions nécessaires pour effectuer la décomposition de l'eau. La présence du platine qui touche à la fois le zinc et le liquide donne passage à l'électricité; la communication directe avec le zinc est alors plus efficace que lorsqu'elle a lieu par l'intermédiaire des électrolytes ou corps conducteurs décomposables, attendu qu'en se servant de ces derniers, les affinités chimiques qui en résultent sur le zinc produisent une action contraire

et opposée à celle qui domine dans la dissolution d'acide sulfurique. Les liquides étant en outre moins bons conducteurs que les métaux, il en résulte que tout concourt à rendre efficace le contact métallique.

D'après cette manière de voir, l'électricité de la pile de Volta ne dépend pas du contact des métaux, mais bien de l'action chimique mise en jeu. Son intensité est proportionnée à celle des affinités dans sa production, et la quantité est relative à celle de la matière qui a été soumise à l'action chimique.

599. Nous n'envisageons pas la question du dégagement de l'électricité, dans les actions chimiques précisément, de la même manière que M. Faraday. Les nombreuses expériences que nous avons faites à ce sujet et qui sont consignées dans cet ouvrage, ainsi que celles du même genre que l'on doit à M. Delarive, nous paraissent suffisantes pour résoudre complétement cette question; au surplus, nous allons rappeler les conséquences que nous en avons tirées, pour que le lecteur soit à même de décider qui de nous ou de M. Faraday a raison.

Toutes les fois qu'un acide réagit sur un métal, ou sur un oxide, l'acide prend l'électricité positive et le métal ou l'oxide l'électricité négative; le condensateur de Volta suffit pour constater ce fait. Les deux électricités dégagées se recombinent immédiatement sur la surface même du contact, ou en suivant les corps bons conducteurs qui se présentent à elles. Il en est encore de même quand deux solutions réagissent l'une sur l'autre; celle qui joue le rôle d'acide prenant l'électricité positive, et celle qui se comporte comme un alcali, l'électricité négative. Un oxide métallique, en se combinant avec un alcali, se comporte comme un acide et prend l'électricité positive, etc. Il résulte de là que lorsqu'on veut recueillir de l'électricité dans les actions chimiques, il faut disposer les appareils de manière à s'emparer des électricités avant leur recomposition à la surface de contact des deux corps qui réagissent l'un sur l'autre; car, faute de prendre cette précaution, on obtient souvent des résultats incer-

tains. Plongeons, par exemple, une lame de zinc dans de l'eau acidulée par l'acide sulfurique, le métal est oxidé, et l'oxide formé est enlevé aussitôt par l'acide sulfurique. Pendant cette action le zinc s'empare de l'électricité négative et le liquide de l'électricité positive; et les deux électricités reforment aussitôt du fluide neutre dans la dissolution. Mais si l'on met en contact, dans le liquide, avec la lame de zinc, une lame de cuivre, celle-ci s'empare naturellement de l'électricité négative du zinc, qu'elle transporte dans le liquide, pour lui reprendre l'électricité positive qui appartient à ce dernier; d'où résulte un courant électrique qui accélère l'action décomposante. Cette explication repose sur l'exposition pure et simple des faits, et non sur aucune idée métaphysique. Nous indiquerons dans le chapitre suivant comment nous considérons les décompositions électro-chimiques.

600. M. Faraday est parvenu, au moyen de l'appareil (fig. 129), composé d'un seul couple, à opérer des décompositions sans employer, comme on l'avait fait jusqu'ici, l'action chimique de l'une des plaques sur le corps soumis à l'expérience. Il a pris un vase V, renfermant une dissolution d'acide sulfurique, dans laquelle plongeaient les deux plaques Z *et* P, auxquelles étaient soudés des fils de platine *a*, *b*, *c*. Les solutions soumises à la décomposition étaient placées en x, soit sous forme de gouttes, soit interposées dans les pores d'une bande de papier.

Une solution d'iodure de potassium ayant été placée en x, la décomposition eut lieu aussitôt; il en fut de même du chlorure d'argent et du proto-chlorure d'étain fondus; tandis que de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, des solutions d'acide hydrochlorique, de sulfate de soude, de chlorure et d'iodure de plomb, ne furent pas décomposées. Nous avons opéré depuis long-temps des décompositions avec un appareil voltaïque simple (1), sans faire intervenir l'action chimique de la

(1) Annal. de Chimie et de Phys.

solution sur l'un des fils décomposants. L'iodure de potassium a été décomposé avec des fils de platine, comme dans l'appareil de M. Faraday.

M. Faraday considère ces expériences comme montrant la relation et l'opposition directe des affinités chimiques qui se produisent aux deux points de l'action; quand la somme des affinités opposantes est suffisamment au-dessous de la somme des affinités agissantes en V, la décomposition a lieu; dans le cas où elle domine, la décomposition n'a pas lieu et le courant cesse de passer. En augmentant la somme des affinités agissantes en V, par l'addition d'une petite quantité d'acide nitrique dans le liquide du vase, alors on parvient à décomposer les solutions d'acide hydrochlorique, de sulfate de soude, etc.

Lorsque des corps résistent à l'action décomposante d'un couple qui plonge dans une dissolution d'acide sulfurique, on trouve la même résistance quand on augmente les dimensions des plaques; tandis que la décomposition a lieu en se servant de simples fils de platine et de zinc et de la dissolution nitro-sulfurique. En soumettant différents corps à l'action décomposante d'un seul couple, M. Faraday a formé la table suivante, dans laquelle les corps qui sont en tête sont décomposés par les courants les plus faibles, abstraction faite de la réaction exercée par la matière des électrodes :

Iodure de potassium (solution); chlorure d'argent (fondu); proto-chlorure d'étain (fondu); chlorure de plomb (fondu); iodure de plomb (fondu); acide muriatique (solution); eau acidulée par l'acide sulfurique.

On voit donc, comme on pouvait le prévoir *à priori*, que M. Faraday considère la décomposition électro-chimique comme la conséquence directe d'une production de force, à quelque endroit du circuit, supérieure à celle du même genre de puissance qu'il faut vaincre dans une autre partie de ce circuit. Suivant cette manière de voir, l'affinité chimique se transmettrait donc à distance à travers les métaux et certains corps conducteurs, et

le courant électrique ne serait qu'un autre mode d'action de l'affinité chimique ; l'énergie de ce courant serait en proportion avec les affinités chimiques qui le produisent ; d'où résulte cette conséquence, que les forces appelées affinité chimique et électricité sont une seule et même chose.

Davy a professé une doctrine à peu près semblable ; suivant lui, les altérations chimiques et électriques sont produites par la même cause, agissant dans un cas sur les particules, dans l'autre sur les masses, et la même propriété, sous différentes modifications, est la cause de tous les phénomènes que présentent les différentes combinaisons voltaïques.

M. Faraday a observé que dans un couple zinc et platine, qui plonge dans une dissolution d'acide sulfurique, c'est la combinaison seule du zinc avec l'oxigène de l'eau qui détermine le courant, l'acide n'étant là seulement que pour enlever l'oxide formé et faciliter par conséquent une nouvelle oxidation. En effet, la quantité d'électricité dégagée dépend de la quantité de zinc oxidé et se trouve en proportion définie avec lui, et son intensité est proportionnelle à l'affinité chimique du zinc pour l'oxigène. Avec l'acide hydrochlorique, il n'en est pas de même, le courant paraît dépendre de l'affinité du zinc pour le chlore.

Pour appuyer cette théorie de faits positifs, M. Faraday ne s'est pas borné à opérer la décomposition de l'eau, en y ajoutant de l'acide sulfurique, il a voulu voir ce qui se passait quand le couple zinc et platine plongeait dans une solution de potasse caustique ; il a trouvé que les effets obtenus dans ce cas étaient les mêmes que ceux qu'on avait obtenus avec l'eau acidulée. L'hydrogène développé sur la surface du platine s'est trouvé l'équivalent du métal oxidé à la surface du zinc. Ce résultat prouve bien que la combinaison de l'acide avec l'oxide formé dans le premier cas, n'a pas modifié l'intensité du courant, et que l'oxidation du métal paraît bien être la cause du courant. La présence d'un électrolyte est

donc essentielle dans une partie du circuit voltaïque, ainsi que celle d'un corps oxidant ou d'un autre capable de réagir chimiquement sur le métal. Prenons l'eau pour exemple; l'attraction du zinc pour l'oxigène est plus grande que celle de l'oxigène pour l'hydrogène; mais en se combinant avec lui, il tend à mettre en mouvement un courant électrique dans une certaine direction qui s'accorde avec celle du transport de l'hydrogène, du zinc vers le platine, et de l'oxigène libre du platine vers le zinc. Cette explication est un peu vague, il faut l'avouer, et n'est pas de nature certainement à nous éclairer sur le rôle que joue l'électricité dans les décompositions chimiques.

601. M. Faraday avance que l'acide sulfurique n'est pas compétent pour modifier l'intensité du courant produit dans l'oxidation, parce qu'il ne fait pas partie d'un électrolyte et qu'il n'est pas en rapport par conséquent avec un corps qui permette dans la solution le transport des molécules, et par suite celui de l'électricité.

Ce rôle secondaire de l'acide sulfurique, dans la production du courant, est confirmé, selon lui, par le fait que le courant engendré et transmis est directement et exactement proportionnel à la quantité d'eau décomposée et à la même quantité de zinc oxidé.

On peut établir théoriquement le cas général, dit M. Faraday, de la manière suivante : Supposez en *a* (fig. 130) un oxacide sec, et en *b* une base aussi sèche, en contact et en communication électrique, au moyen des plaques et fil de platine *p*, *p*, *w*; s'il y a combinaison et que l'affinité soit capable de donner naissance à un courant électrique, le courant ne pourra pas circuler d'une manière sensible; parce que, selon les résultats de l'expérience, *a* et *b* ne pourraient conduire sans opérer de décomposition; mais les affinités en *c* ne tendent pas à faire séparer les éléments de *a* et de *b*, mais bien à opérer leur combinaison. Il résulte de là qu'il ne peut se former de courant.

Il avoue cependant, que si l'acide et la base sont

dissous dans l'eau, il est possible qu'une petite partie de l'électricité due à l'action chimique puisse être conduite par l'eau, sans que celle-ci soit décomposée; mais la quantité en est assez petite et est disproportionnée avec celle qui est due aux équivalents de la force chimique, de sorte qu'on ne doit la considérer que comme incidentelle.

Il n'en est plus de même, suivant M. Faraday, quand on substitue à l'oxacide un hydracide analogue à l'acide hydro-chlorique; dans ce cas il y a un courant dû à l'action chimique de l'acide sur la base, parce que l'hydrogène de l'acide et l'oxigène de la base peuvent être transportés par le courant.

Voici l'expérience que le savant anglais a faite pour prouver qu'il n'y a pas d'électricité rendue libre dans la combinaison d'un acide liquide avec un alcali liquide :

Ayant pris un vase séparé en deux parties par une bande de papier ou une membrane, il verse dans l'une d'elles une dissolution d'acide sulfurique, et dans l'autre une solution de potasse caustique. La combinaison de l'acide avec l'alcali s'effectue lentement à travers le diaphragme, qui se couvre d'une couche épaisse de sulfate de potasse. Ayant plongé ensuite dans chaque cellule une lame de platine en communication avec un multiplicateur, il n'a trouvé aucune trace de courant; d'où il a conclu que la combinaison de l'acide avec l'alcali ne produit aucun courant électrique direct. Ce résultat nous étonne d'autant plus qu'il est bien prouvé maintenant que cette combinaison donne naissance à des effets électriques qui ont une grande intensité quand on les recueille convenablement. Pour expliquer la cause du résultat négatif obtenu par M. Faraday, rappelons-nous ce que nous avons dit précédemment (pag. 387), sur la manière dont s'opère le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques : « Lorsqu'on veut recueillir de « l'électricité dans les actions chimiques, il faut disposer « les appareils de manière à s'emparer des électricités « avant leur recomposition à la surface même de con-

« tact. » Or, cette précaution n'a probablement pas été prise par M. Faraday, qui s'est contenté de plonger les deux lames de platine dans l'acide et l'alcali à une certaine distance de la surface de contact; de sorte que la recomposition des deux électricités a éprouvé moins de difficulté à s'effectuer sur le diaphragme même, que de parcourir, pour reformer du fluide neutre, une certaine étendue de liquide; d'un autre côté, le diaphragme, qui s'est recouvert promptement de cristaux de sulfate de potasse, a dû intercepter une grande portion du courant. Pour réussir, il faut suivre les méthodes indiquées dans le second volume (pag. 29, 30), qui remplissent les conditions exigées pour le succès de l'expérience. Au surplus, l'appareil décomposant déjà décrit, formé de deux bocaux de verre, remplis, l'un d'acide nitrique, l'autre d'une solution de soude, communiquant ensemble au moyen d'un tube recourbé rempli d'argile humectée d'une solution de nitrate de soude, et dans lesquels plongent des lames de platine, répond victorieusement à l'assertion qu'il n'y a pas d'électricité mise en liberté dans la réaction d'un acide sur un alcali.

M. Faraday prétend qu'il ne peut y avoir de courant dans la réaction de l'acide sur l'alcali, parce que ces deux corps, n'étant pas décomposés, ne peuvent fournir les éléments dont le transport est nécessaire pour la circulation du courant dans les dissolutions; nous lui répondrons, par des faits qui nous paraissent incontestables, que dans cette circonstance il y a décomposition chimique. En effet, nous avons vu précédemment que toutes les fois que deux lames de platine, plongeant dans un liquide quelconque, transmettent un courant électrique, dont l'intensité est la plus faible possible, ces lames sont immédiatement polarisées de manière à produire un courant en sens inverse du premier, quand on les fait communiquer ensuite ensemble. Or ce courant secondaire ne peut être attribué, comme nous l'avons montré, qu'à la réaction sur le liquide, des éléments qui ont été transportés sur leur surface par l'effet d'une décomposition

électro-chimique. Avec de l'eau aussi pure que possible, on obtient le même résultat. Les lames sont également polarisées dans l'expérience où l'on fait réagir un acide sur un alcali ; il y a donc eu décomposition, soit de l'eau, soit du sel formé, soit de l'un de ces éléments.

602. Nous avons déja dit que les expériences de M. Faraday prouvent parfaitement le rôle secondaire que joue l'acide sulfurique dans la décomposition de l'eau au moyen d'un seul couple; mais il est facile de concevoir comment il se fait que l'électricité, qui se dégage dans la combinaison de l'oxide avec l'acide, ne tend pas à augmenter l'intensité du courant produit pendant l'oxidation du zinc. Les oxides, en général, sont de mauvais conducteurs; de plus, aussitôt que celui de zinc est formé, il ne fait plus corps avec le métal, de sorte que les circonstances sont favorables pour que les deux électricités dégagées reforment du fluide neutre à l'endroit même où s'opère l'action chimique, plutôt que par l'intermédiaire du circuit métallique.

§ III. *De l'intensité du courant nécessaire pour opérer la décomposition électro-chimique, ou l'électrolysation.*

603. M. Faraday a commencé par rechercher si un courant peut passer à travers un électrolyte sans le décomposer : il a employé à cet effet l'appareil fig. 131. Les deux vases A et B contenaient la même dissolution d'acide sulfurique; la plaque *z* était de zinc amalgamé, uni avec un fil de platine à la plaque de platine *e*. Un fil de platine *b* joignait deux plaques de même métal P', P'; un autre fil de platine était soudé à la plaque de platine P''; sur la plaque *e* fut placé un morceau de papier humecté d'une solution d'iodure de potassium. L'existence du courant fut indiquée par la décomposition en *e;* l'extrémité *c* fut mise ensuite en contact métallique avec la plaque *e*.

Cet appareil ayant été examiné de temps à autre,

pendant douze jours, on trouva qu'un courant électrique y circulait toujours. Pendant cette longue période, on ne vit pas, dans le second vase, la plus légère apparence d'une bulle sur l'une ou l'autre plaque de platine. Le courant passait cependant; mais il avait une si faible intensité, qu'il était arrivé au-dessous du degré où les éléments de l'eau s'écartaient l'un de l'autre, sans être aidé par des forces secondaires émanées des électrodes. Mais parce qu'il n'y a pas eu de bulles de gaz visibles sur les lames de platine, doit-on en conclure que l'eau n'a pas été décomposée? Nous sommes bien loin de le croire. La polarité électrique qu'ont dû acquérir les lames, dans cette circonstance, prouve le contraire; les quantités de gaz transportées étaient si faibles, qu'il fallait d'autres moyens que les yeux pour constater leur présence. Nos appareils ont maintenant une telle sensibilité, que nous pouvons reconnaître aisément ces effets de polarisation des lames qui sont propres à constater de faibles décompositions. Ayant soumis différents sels à la décomposition, dans les appareils fig. 132 et 133, d'abord l'iodure de potassium et ensuite le sulfate de soude, le prémier sel fut seul décomposé, quoique le courant ait traversé le second. Il faut donc, pour décomposer ce sel, une intensité électrique plus grande que pour l'iodure de potassium; nous croyons cependant que le sulfate de soude a été décomposé en très-petite quantité, comme l'eau précédemment.

M. Faraday a tiré de ces expériences, et d'autres que nous ne rapportons pas ici, la conclusion suivante relative à l'intensité du courant: « Il paraît que lorsqu'un courant « voltaïque est produit, et qu'il a une certaine intensité « dépendante de la force des affinités chimiques existan- « tes, ce courant peut décomposer un électrolyte parti- « culier, sans avoir égard à la quantité d'électricité qui « a passé, l'intensité décidant si l'électrolyte donnera « passage ou non. » Nous avons admis ce principe depuis long-temps.

§ IV. *De l'intensité du courant.*

604. M. Faraday a cherché à appliquer à l'intensité du courant les principes que nous venons d'exposer; en raison de l'action définie de l'électricité, il regarde comme évident que la quantité d'électricité dans le courant ne peut augmenter quand la quantité de métal oxidé et dissous s'accroît là où a lieu l'action chimique. Ainsi une seule paire de plaques de zinc et de platine donne autant d'électricité sous forme de courant, par l'oxidation d'une certaine quantité de zinc, qu'en donnerait l'altération de mille fois cette quantité à la surface de mille plaques de zinc dans une pile voltaïque. Pour le prouver, M. Faraday a disposé, en forme de batterie, dix plaques de zinc amalgamé et de platine, avec la dissolution d'acide sulfurique. Le circuit ayant été fermé, il recueillit l'hydrogène dégagé à la surface de chaque plaque de platine, et trouva que la quantité sur chacune d'elles était en proportion avec la quantité de métal dissoute de chaque plaque de zinc, et la même que celle qu'il avait obtenue avec une seule paire. Il est démontré par là qu'il a passé autant d'électricité à travers une série de dix plaques que dans une seule, quoique la quantité de zinc dissoute ait été dix fois plus grande. Ce fait avait déja été constaté depuis long-temps au moyen du multiplicateur.

Pour expliquer l'accroissement de l'intensité du courant, à mesure que l'on augmente le nombre des couples, M. Faraday suppose que le degré d'intensité du courant, développé par le premier élément, s'augmente quand ce courant est soumis à l'action d'un second élément agissant de concert, et possédant un pouvoir égal au premier; M. Peltier a envisagé la question sous le même point de vue. Les décompositions étant simplement des actions opposées, qui sont exactement du même genre que celles qui engendrent le courant, il en résulte que l'affinité qui résiste à la force d'une

action décomposante, doit céder à l'énergie de plusieurs actions décomposantes.

§ V. *Considérations générales sur les décompositions électro-chimiques.*

605. M. Faraday ne s'est pas borné seulement à observer des faits isolés, il a cherché encore à les rattacher à une théorie générale qui pût embrasser tous les phénomènes relatifs à l'électricité et aux affinités chimiques; mais, quoiqu'il ait ajouté beaucoup d'observations importantes à celles de ses prédécesseurs, nous ne pensons pas qu'il ait encore atteint le but qu'il s'est proposé. En attendant, les théories se succèdent, de nouveaux faits viennent nous révéler de nouveaux rapports entre les affinités et les forces électriques, la science marche, et c'est tout ce que la philosophie peut espérer pour l'instant. Le lecteur va juger par lui-même des nouveaux efforts de M. Faraday pour tâcher d'expliquer les décompositions électro-chimiques.

Suivant lui, les décompositions électro-chimiques, comme l'ont pensé quelques physiciens, ne dépendent d'aucune répulsion ou attraction directe des pôles, ou des lames métalliques en communication avec les appareils électriques et les dissolutions, ni des éléments en contact avec ces lames, ou près d'elles; il se fonde à cet égard sur les expériences de décomposition faites dans l'air. Dans ce cas, les éléments séparés ne se rendent vers aucun pôle, mais ils sont chassés aux extrémités de la substance soumise à l'action décomposante de la pile.

Pour prouver que les portions environnantes de l'air ne sont pas des surfaces d'attraction et de répulsion analogues à celles des plaques de métal, M. Faraday a construit un appareil à l'aide duquel il est parvenu à décomposer un corps aussi bien sur une surface d'eau que dans l'air. Ayant pris un bocal de verre de quatre pouces de diamètre et de quatre pouces de profondeur (fig. 134), une lame de mica *a* fut fixée à la partie

supérieure, de manière à descendre un pouce au-dessous du bord, et entourée d'eau de tous côtés; une lame de platine *b*, large de trois pouces, fut placée aussi dans le bassin à peu de distance du mica, et retenue au moyen d'une petite masse de verre, afin de prévenir des mouvements dans le liquide par le dégagement des gaz. Il versa ensuite dans le vase avec soin une solution de sulfate de magnésie jusqu'au-dessus du petit bord du morceau de mica, en évitant que le verre ou le mica, sur le côté non occupé *c*, fût mouillé par la solution au-dessus de son niveau. Un morceau de liége poli, mouillé préalablement avec de l'eau distillée, fut posé légèrement sur la solution du côté sec; de l'eau distillée fut versée doucement dessus jusqu'à la hauteur d'un pouce; puis il ajouta de l'eau encore plus pure, jusqu'à ce qu'elle touchât à peu près le sommet du verre : la solution de sulfate occupait donc la partie basse du bassin, ainsi que la partie supérieure à droite; mais, à cause du diaphragme, une couche d'eau reposait de *c* en *d* sur la solution. Une seconde plaque de platine *e* fut placée sur la surface de l'eau dans une position horizontale, mais avec une inclinaison suffisante pour que les gaz dégagés pendant la décomposition pussent échapper; l'extrémité *c* fut mise en communication avec le pôle négatif d'une pile voltaïque de quarante paires, et le pôle positif avec l'extrémité *b*. La décomposition commença aussitôt, mais elle fut d'abord très-faible à cause de l'eau pure; peu de temps après la magnésie parut au pôle négatif, non sur la lame de platine, mais sur la surface de contact de l'eau et de la solution de sulfate de magnésie. La lame négative ayant été retirée, on ne trouva sur la surface, avec le papier de curcuma, aucune trace d'alcali : la magnésie était donc restée entière à la surface de contact des deux liquides; il n'en fut pas de même de la lame *b*, qui donna la réaction acide. Cette expérience montre que la décomposition réussit aussi bien sur la surface de l'eau, qui est conductrice de l'électricité et décomposable, que dans l'air, qui n'est ni

conducteur ni décomposable, et sur les lames de métal. M. Faraday en a conclu qu'il n'y avait pas de raison pour admettre que le phénomène de décomposition fût dû au pouvoir attractif des métaux, puisqu'il se produit avec tous les corps.

Cette expérience, suivant nous, prouve simplement, conformément au principe que nous avons établi, que la magnésie a été arrêtée à la surface de contact de la solution de sulfate et de l'eau, parce qu'elle n'a pas trouvé dans l'eau le corps dont elle avait besoin pour former une combinaison soluble, sans laquelle elle ne pouvait se rendre sur la lame négative. En un mot, la magnésie s'est précipitée là par la même raison que l'acide sulfurique est arrêté dans son transport par l'électricité, quand il rencontre de la baryte sur sa route.

606. Le savant anglais, qui a fait un grand nombre d'expériences pour jeter les bases d'une théorie électro-chimique, pense que la somme des décompositions électro-chimiques est constante pour une portion quelconque d'un conducteur décomposant, et qu'elle est uniforme dans sa nature, à quelque distance que se trouvent les pôles; il s'appuie à cet égard sur l'expérience suivante : si les deux bouts du fil d'un multiplicateur, terminés chacun par une plaque de platine, sont plongés dans un acide étendu d'eau, et mis lui-même en communication avec une batterie voltaïque, la déviation de l'aiguille aimantée est toujours la même quand les plaques, étant maintenues parallèlement entre elles à la même distance, sont placées soit au milieu de la solution, soit vers l'un des pôles de la pile. Cette expérience est une confirmation de celle que nous avions déja faite avec un fil de métal, et dont le résultat avait été que l'intensité du courant est la même en un point quelconque du circuit parcouru par l'électricité. M. Faraday a généralisé ainsi son principe, en s'appuyant sur des expériences précédemment exposées. Pour une quantité constante d'électricité, quel que soit le conduc-

teur décomposant, la somme totale de l'action électro chimique est aussi une quantité constante, c'est-à-dire qu'elle doit toujours être équivalente à la nature des effets chimiques ordinaires. Nous partageons complétement son opinion à cet égard.

M. Faraday, en cherchant parmi les expériences relatives aux décompositions électro-chimiques et aux phénomènes électro-dynamiques, que l'on a citées à l'appui des vues de Grotthus et de M. Delarive, celles qui peuvent être regardées comme propres à soutenir la théorie des deux électricités plutôt que celle d'un seul fluide, n'a pu trouver un seul fait qu'on pût mettre en avant pour appuyer la dernière. Quant à la première, il n'a pas observé non plus le plus petit fait qui puisse faire croire que le courant positif soit plus puissant que le courant négatif, ou que l'un puisse être présent sans l'autre, ou varier sans que l'autre soit affecté. Par conséquent, il n'y a donc, suivant lui, aucune raison pour considérer le courant électrique comme un composé de deux autres courants, l'un formé par l'électricité positive, et l'autre par l'électricité négative. Cette égalité d'intensité dans l'action de chacun des deux fluides ne nous paraît pas aussi exclusive qu'à M. Faraday; car il existe plusieurs faits sur l'exactitude desquels on ne peut élever aucun doute qui prouvent que réellement chacun des deux fluides, indépendamment de son action chimique, ne jouit pas toujours des mêmes propriétés physiques. Nous reviendrons sur cette observation, quand nous exposerons nos vues particulières sur la théorie électro-chimique.

607. La théorie que donne M. Faraday des décompositions électro-chimiques nous paraissant un peu abstraite, nous allons rapporter le passage où il en résume lui-même les bases:

« La décomposition est produite par *une action cor-*
« *pusculaire interne*, qui se développe dans la direc-
« tion du courant électrique, et qui est due à une force
« surajoutée aux affinités chimiques ordinaires des

« corps presents, ou qui imprime une direction à ces « affinités. Le corps décomposant peut être considéré « comme une masse de particules agissantes, celles qui « se trouvent sur la route du courant électrique contri- « buant à l'effet final (1); et c'est parce que l'affinité « chimique ordinaire est allégée, affaiblie, ou en partie « neutralisée par l'influence du courant électrique dans « une direction parallèle à celle qu'il suit, et renforcée « ou augmentée dans une direction opposée, que les « particules combinées ont une tendance à se diriger « dans une route opposée.

« L'effet produit doit donc être regardé comme essen- « tiellement dépendant de l'affinité chimique mutuelle « des particules de nature opposée. Les particules *aa* « (fig. 134 *bis*) ne pourraient être transportées, ou voyager « du pôle N au pôle P, sans rencontrer les particules « d'une nature opposée *bb*, prêtes à passer dans une di- « rection contraire; car si elles sont poussées en avant, « c'est en vertu de leur affinité croissante pour ces par- « ticules, combinée avec l'affinité moindre pour celles « qui, dans leur cours, se trouvent derrière elles. Dès « l'instant qu'une particule *a* (fig. 134 *ter*) arrive au pôle, « elle est écartée ou mise en liberté, parce que la parti- « cule *b*, d'une nature opposée, avec laquelle elle était « combinée le moment d'avant, a, sous l'influence en- « traînante du courant, une plus grande attraction pour « la particule *a'* qui est devant elle sur la route, que « pour la particule *a*, pour laquelle son affinité a été « affaiblie. »

En décrivant toutes les circonstances des décomposi- tions électro-chimiques, M. Faraday ajoute :

Que les actions décomposantes se montrent fréquem- ment dans des directions obliques, puisque, lorsqu'on emploie des fils qui plongent dans un vase rempli d'une solution, les décompositions et recompositions se pré-

(1) Transact. philos., 1833, p. 696.

sentent à droite ou à gauche de la ligne droite entre les pôles, et partout où s'étendent les courants, et doivent se montrer par conséquent entre des particules obliquement placées par rapport au courant lui-même. Il admet donc que dans un corps composé, capable de décomposition électro-chimique, les particules élémentaires ont une relation mutuelle et une influence l'une sur l'autre qui s'étendent au-delà de celles avec lesquelles elles sont combinées. Il fait observer à cet égard que le rapport général des particules déja combinées avec les autres particules auxquelles elles ne sont pas combinées, est constaté par de nombreux résultats chimiques, et par les expériences de Berthollet sur l'influence des masses dans les affinités. Il fait remarquer que, dans les gaz et dans les vapeurs, là où l'attraction d'agrégation cesse, les pouvoirs décomposants de l'électricité paraissent cesser aussi, et l'influence de la quantité ne se manifeste plus. Cette assertion est vraie, suivant nous, quand il s'agit de l'électricité voltaïque; mais elle ne l'est pas quand on opère avec l'électricité ordinaire, puisque l'on parvient, au moyen de son action, à décomposer les gaz. Le savant anglais attribue donc les décompositions électro-chimiques à une modification dans l'affinité chimique des particules au travers desquelles passe le courant électrique, laquelle modification leur donne la faculté d'agir plus efficacement dans une direction que dans l'autre, en les faisant passer conséquemment par une série de décompositions et de recompositions successives dans des directions opposées, et les chassant vers les limites du corps décomposé dans la direction du courant, en plus ou moins grande quantité, selon que le courant est plus ou moins puissant. D'où il suit qu'un corps soumis à la décomposition se trouve en rapport plutôt avec le courant qui le traverse qu'avec les pôles, et qu'une susbtance ne peut être transportée par le courant au-delà du point où elle cesse de traverser des particules avec lesquelles elles forment des combinaisons; nous ajouterons avec lesquelles

elles peuvent former une combinaison soluble, comme Davy et nous l'avons montré.

608. Pour prouver que la décomposition et le transport des éléments dépendent réellement de l'affinité chimique des substances sur lesquelles on agit, M. Faraday a pris de l'acide sulfurique étendu d'eau, d'une pesanteur spécifique égale à 1021,2, et une solution de sulfate de soude, telle qu'une mesure contenait autant d'acide sulfurique qu'une même mesure de cet acide étendu; puis une solution de soude pure et une autre d'ammoniaque, également pure, préparées de manière qu'une mesure de chacune d'elles était neutralisée par une mesure de l'acide sulfurique.

Quatre coupes de verre furent disposées comme l'indique la fig. 135; 70 mesures d'acide sulfurique furent versées dans chacun des vases *a* et *b*, et 70 mesures de solution de sulfate de soude dans chacun des vases A et B; *a* et *b*, A et B furent mis en communication avec de l'asbeste, préalablement lavé dans de l'eau acidulée, puis séché. En outre, *b* et A furent mis en communication au moyen de deux plaques de platine, et l'on plongea dans les vases *a* et B des lames de platine en relation avec une batterie voltaïque de 40 éléments. Le courant qui passait de *a* en *b* était le même que celui qui allait de A en B de chaque côté, et la même quantité d'acide avait été soumise à son action : seulement, d'un côté, l'acide était dissous dans l'eau, et de l'autre il était également dissous, mais combiné avec un alcali. L'action ayant été interrompue, les mèches d'asbeste furent lavées, et les eaux de lavage versées chacune dans leurs vases respectifs.

Ayant comparé les quantités d'acide contenues dans *a* et *b*, on trouva que le vase négatif *a* exigeait 15 parties de solution de soude, et celles du vase positif *b* 16,3 parties. En prenant la moyenne 15,65, la 24e partie de l'acide qui se trouvait d'abord dans le vase *a*, aurait donc passé, à l'aide du courant électrique, de *a* en *b*. Quant aux vases A et B, on trouva que la solu-

tion en A, qui était alcaline, exigeait 2 mesures de l'acide préparé pour être neutralisé, et la solution acide en B la même quantité de solution de soude. Il résulte de là qu'un 10e de l'acide, qui se trouvait d'abord dans le vase A, a été transporté en B pendant la durée de l'expérience. M. Faraday a conclu de ces expériences, et d'autres que nous ne rapportons pas, que le transport dépend particulièrement de l'action mutuelle des particules des corps décomposés, puisque, dans les capsules *a* et *b* l'acide n'avait qu'une faible affinité pour l'eau, tandis qu'il en avait une plus forte, dans les vases A et B, pour la soude.

609. M. Faraday, intimement convaincu qu'une substance ne peut être transportée ou passer d'un pôle à un autre, qu'autant qu'elle est en rapport chimique avec quelque autre élément ou substance tendant à passer dans une direction opposée, cite, en faveur de cette opinion, que l'on n'a encore observé aucune tendance vers les pôles, de la part de substances qui se trouvent à l'état de simple mélange dans un liquide, comme le charbon de bois pulvérisé répandu dans de l'acide sulfurique étendu d'eau et soumis à l'action d'une pile voltaïque, comme le soufre sublimé répandu dans de l'acide sulfurique. Je ferai encore remarquer que cet effet, dont M. Faraday ne reconnaît pas encore l'existence et qui est jusqu'à un certain point indépendant de l'effet chimique, a été constaté par divers physiciens et, entre autres, par nous. Nous avons bien reconnu que l'électricité positive, en parcourant les liquides, a la faculté de chasser devant elle les corps légers qui s'opposent à son passage, tandis que l'électricité négative ne paraît pas jouir de cette propriété au même degré. Au surplus, nous pensons, avec M. Faraday, qu'on peut dire que les substances, immédiatement après leur séparation, deviennent indifférentes à l'action du courant, et qu'en général, plus les corps sont directement opposés l'un à l'autre, sous le rapport de l'action chimique, plus ils sont disposés à se séparer l'un de l'autre, pourvu cependant

que l'insolubilité, le manque de pouvoir conducteur et les proportions ne s'y opposent pas. On voit par là pourquoi, dans les décompositions électro-chimiques opérées avec des courants qui ont une certaine énergie, les acides passent à travers les alcalis, et les alcalis ou les terres à travers les acides; attendu que plus il y a d'alcali sur la route d'un acide, plus le transport de l'acide d'un pôle à l'autre est facile.

CHAPITRE V.

THÉORIE CHIMIQUE DE L'AUTEUR.

610. Si nous connaissions la nature du principe électrique et celle des atomes des corps, la théorie électro-chimique ne présenterait plus de difficultés, puisqu'elle nous donnerait immédiatement tous les rapports qui lient les forces électriques et les affinités; mais nous n'en sommes pas encore là. Aussi les physiciens sont-ils forcés de multiplier les expériences pour lier ensemble les phénomènes électriques et les phénomènes chimiques. Que de faits souvent difficiles à interpréter et à rattacher à d'autres faits n'a-t-on pas accumulés, depuis plus de trente ans, dans l'arsenal de la science, pour tâcher d'expliquer les phénomènes électro-chimiques et une foule d'effets naturels qui se produisent sur notre globe et dans les espaces célestes! car, partout où il existe de la matière, le principe électrique s'y trouve aussi et peut y être mis en mouvement par un grand nombre de causes dont nous avons fait connaître les plus importantes. Ce principe préside aux actions chimiques, aux phénomènes de la chaleur et de la lumière, aux effets magnétiques et peut-être aussi à l'attraction générale. Il a donc tous les caractères d'un agent universel, puisqu'il apparaît quand un de ces phénomènes se produit. Bien que nous soyons disposés à lui faire jouer un grand rôle dans la nature, le lecteur a pu voir cependant dans le cours de cet ouvrage avec quelle circonspection nous avons hasardé des conjec-

tures à cet égard. Nous les avons toujours présentées comme des conséquences probables de faits bien constatés. Fidèles à cette manière de procéder, nous allons exposer la théorie électro-chimique, telle que nous l'envisageons, et en nous entourant de tous les documents dont la science nous permet de disposer.

Qu'est-ce que c'est que l'électricité? est-ce un fluide ou le résultat d'un mouvement produit dans une matière éthérée? Nous l'ignorons. Ce que nous savons, c'est qu'il y a une différence immense entre l'électricité libre et l'électricité en mouvement; la première possède tous les caractères d'un fluide, puisqu'on la recueille, on la condense et on la garde, tandis que l'électricité en mouvement ne possède aucune de ces propriétés et jouit au contraire de celles qui caractérisent une matière éthérée se propageant dans les corps avec une vitesse dont l'imagination ne peut se faire que difficilement une idée. Il en résulte, comme l'a très-bien fait observer M. Peltier, que l'augmentation ou la diminution d'action dans la première est due à un changement dans la densité, et dans la seconde à un accroissement ou à une diminution dans l'intensité du mouvement, c'est-à-dire dans sa rapidité.

Un caractère propre à l'électricité en mouvement et qui la distingue de l'autre, c'est que l'on n'augmente pas son intensité en augmentant la quantité d'électricité destinée à produire le mouvement, pourvu que cette électricité soit animée de la même vitesse, ce qui n'a pas lieu pour l'autre, dont la densité augmente dans les mêmes rapports. On peut donc considérer le courant électrique comme le résultat d'un mouvement oscillatoire produit dans une substance éthérée, dont l'intensité augmente par une impulsion nouvelle imprimée aux oscillations. Cette substance éthérée est très-probablement celle qui remplit l'univers, et par conséquent les espaces interstitiels des corps, et dont les oscillations produisent la lumière et même la chaleur, quand les

particules de ces corps sont elles-mêmes ébranlées.

Quelques physiciens ont admis, avec M. Peltier, que dans le dégagement de l'électricité libre, de celui de friction, par exemple, l'éther se partageait inégalement entre les deux corps frottés; que l'un, en le condensant, s'électrisait en plus, et l'autre, en le raréfiant dans la même proportion, s'électrisait en moins. Mais cette manière de voir, rentrant dans celle d'un seul fluide, qui présente des difficultés qu'on n'a pu encore lever, nous ne nous en occuperons pas ici.

Dans l'impossibilité de donner une idée nette de ce que nous appelons électricité naturelle, nous continuerons à la considérer sans rien préjuger sur sa nature, comme formée de la réunion des deux fluides dont nous avons déja fait connaître les propriétés les plus importantes.

611. Les physiciens et les chimistes regardent les corps comme formés d'une infinité de molécules ou d'atomes entourés de calorique qui les tient à une certaine distance. Quand la quantité de calorique augmente, cette distance devient plus grande et le volume du corps s'accroît dans la même proportion. Ils admettent, en outre, que les molécules sont soumises à une force d'attraction à laquelle on a donné le nom de *force d'agrégation*, qui tend à les rapprocher autant que possible les unes des autres; ils font intervenir enfin dans la constitution des corps une troisième force, l'attraction de chaque molécule pour la chaleur qui entoure les molécules environnantes. La force d'agrégation l'emportant sur les deux autres, le corps reste solide; si la chaleur augmente, il arrive un instant où les molécules acquièrent une certaine mobilité, et le corps devient liquide; enfin, si la quantité de chaleur devient assez considérable pour vaincre la force d'agrégation, alors le corps devient gazeux.

Il n'est question ici que de molécules similaires; mais ces mêmes molécules sont, la plupart du temps,

composées d'éléments hétérogènes qui sont réunis en vertu de forces particulières auxquelles nous donnons le nom d'*affinités*. Telles sont les idées générales que nous possédons sur la constitution des corps.

L'action des molécules hétérogènes les unes sur les les autres, et la permanence de leur union dans les combinaisons, ainsi que l'action exercée par les molécules similaires les unes sur les autres, dans l'agrégation, sont-elles dues uniquement à des forces électriques ou à des forces dont la nature nous est encore inconnue? Telles sont les questions que nous allons discuter rapidement, sans prévention pour ou contre telle opinion; nous consulterons seulement les faits.

Les atomes peuvent-ils être considérés comme de petites piles électriques, dont la chaleur exalte les propriétés, ou bien possèdent-ils une électricité propre qui constitue leur essence avec des atmosphères d'électricité contraire, les enveloppant de toutes parts, qui dissimulent leurs actions tant qu'ils ne sont pas en combinaison. Les observations suivantes serviront à répondre à ces questions.

La forme des atomes, autant que nous pouvons en juger, doit être sphérique, puisque c'est celle que prend la matière quand elle n'est soumise à l'action d'aucune force étrangère; or, la forme sphérique exclut toute idée de polarité électrique, puisque celle-ci ne peut exister dans un corps dont tous les points de la surface sont symétriquement placés par rapport à un centre. Nous ne pouvons donc admettre dans les atomes deux points doués de propriétés contraires. D'un autre côté, le mode de groupement régulier des atomes, comme l'envisagent MM. Ampère, Gaudin et autres, dans les combinaisons, s'oppose aussi à l'admission de la polarité électrique atomique, car on ne voit pas comment trois, quatre, cinq atomes d'oxigène ou d'un acide pourraient se ranger symétriquement autour de l'atome d'un radical ou d'une base, si toutes leurs parties n'avaient pas la même homogénéité; nous n'a-

vons donc aucun motif pour admettre la polarité électrique.

D'un autre côté, un grand nombre d'expériences prouvent que, lorsque les molécules des corps sont en repos, il ne se manifeste à l'extérieur ou à l'intérieur de ces corps aucun phénomène électrique appréciable, et qu'il n'en est plus de même, dès l'instant que leur position naturelle d'équilibre est troublée par une cause quelconque; on obtient alors des effets électriques dépendants de la nature de cette cause. Ces effets devant servir de base à toute théorie électro-chimique, nous allons les résumer ici le plus succinctement qu'il nous sera possible.

612. Lorsqu'on clive un cristal d'une substance quelconque rangée dans la classe des mauvais conducteurs, chaque face séparée emporte avec elle un excès d'électricité contraire, dont la nature, pour chacune d'elles, ne dépend pas de sa position par rapport à l'autre, et dont l'intensité croît avec la vitesse avec laquelle on a séparé les deux lames. Si ce phénomène, qui est toujours accompagné d'une lueur semblable à celle que l'on observe dans la décharge d'un corps faiblement électrisé, n'offre, dans sa production, aucune apparence de régularité, il prouve du moins que l'électricité, qui devient libre quand on détruit l'attraction moléculaire, joue dans cette attraction un certain rôle dont il nous est impossible d'apprécier encore l'importance.

Sans que nous puissions expliquer non plus le dégagement de l'électricité dans le frottement, nous concevons cependant qu'il doit provenir d'un dérangement dans la position naturelle des molécules, soit par l'effet de l'action mécanique, soit par celui de la force attractive qui se manifeste entre les particules des surfaces frottées; celles qui sont le plus flexibles, qui peuvent se déranger le plus facilement, prenant ordinairement l'électricité négative. Ce fait nous révèle encore la présence de l'électricité dans l'acte de l'agrégation.

Si un corps conducteur est soumis à l'action par

influence d'un corps électrisé, son électricité naturelle est décomposée, de manière que les deux fluides contraires dont elle est formée occupent sur la surface deux plages opposées. Ces deux fluides existaient donc primitivement dans les interstices moléculaires ; et comme leur tension augmente en même temps que celle de l'électricité du corps présenté, même quand celle-ci est très-intense, il en résulte qu'elle peut devenir excessive et même suffisante pour détruire la force d'agrégation du corps soumis à l'action par influence ; car nous savons que l'on désagrége et que l'on décompose même un corps conducteur, quand il est traversé par une décharge électrique suffisamment énergique. Il résulte de ces observations la preuve non-seulement que l'électricité existe en grande quantité dans les espaces moléculaires des corps, mais qu'elle est tellement identifiée avec le pouvoir d'agrégation, que l'on détruit celui-ci quand on enlève toute l'électricité qui se trouve placée entre les molécules. Si donc elle ne constitue pas la force d'agrégation, elle est du moins indispensable à son existence. Cette conséquence est rigoureuse, mais l'expérience ne permet pas d'aller au-delà.

Voyons les rapports que l'expérience établit entre la chaleur et l'électricité ; c'est là où nous commencerons à trouver le lien commun entre les affinités et les forces chimiques. Quand la chaleur se propage dans un corps conducteur de l'électricité formant un circuit fermé, si elle rencontre sur son passage un obstacle qui s'oppose à sa propagation, là où est l'obstacle il y a séparation des deux électricités ; l'électricité positive le franchit aussitôt. En général, plusieurs expériences prouvent que cette espèce d'électricité jouit de la propriété de se mouvoir plus librement que l'autre dans les milieux résistants. Réciproquement, quand le fluide électrique chemine dans un conducteur, si sa vitesse est diminuée en un point quelconque, il y a dégagement de chaleur là où est l'obstacle qui ralentit sa vitesse. Nous ne con-

naissons encore qu'un seul cas d'exception à cette règle, c'est celui qui a été observé par M. Peltier dans un circuit bismuth antimoine.

D'un autre côté, la chaleur, dilatant les molécules des corps, doit produire des effets électriques analogues à ceux du clivage, c'est-à-dire qu'en les écartant elles éprouvent un commencement de clivage, qui met en liberté une certaine portion des deux électricités, lesquelles se combinent aussitôt; l'abaissement de température doit produire des effets électriques inverses.

On ne peut, à la vérité, observer les uns et les autres que dans des cas très-restreints, attendu que la recomposition s'effectue ordinairement sur les surfaces mêmes du contact; mais il faut en excepter quelques corps régulièrement cristallisés, tels que la tourmaline, la topaze et autres, dont la conductibilité et le groupement des molécules les assimilent, jusqu'à un certain point, aux piles électriques formées de lames de verre, et permettent aux électricités dégagées de se mouvoir avec assez de liberté pour que les deux parties opposées de ces cristaux possèdent les deux électricités contraires.

Dans ces cristaux, la présence de l'électricité libre n'a lieu qu'autant que leur température est ascendante ou descendante; car, dès l'instant qu'elle est stationnaire, tous les signes d'électricité disparaissent; leur état électrique est donc bien, comme nous l'avons annoncé, le résultat de la dilatation et de la contraction des particules. Dès lors nous ne voyons pas comment on pourrait comparer les propriétés électriques des atomes des corps aux propriétés électriques d'une tourmaline, puisque celles-ci ne sont que transitoires et fugitives. Cet exemple prouve avec quelle circonspection on doit se prononcer sur le mérite d'une théorie électro-chimique, quand elle ne repose pas sur des faits bien constatés.

La chaleur paraît se propager dans les corps par une

suite de décompositions et de recompositions du fluide électrique, tellement dirigées que la particule qui s'échauffe la première prend au foyer de chaleur l'électricité positive, et repousse la négative dans la particule contiguë, laquelle, s'échauffant à son tour, s'empare de l'électricité positive et chasse la négative dans la particule suivante. C'est par un moyen analogue que la chaleur, sans avoir égard aux effets électriques, se propage dans les corps, puique la théorie admet que, dans la propagation, il se produit un rayonnement de chaleur d'une particule à une autre. Nous sommes disposés à admettre, d'après cela, que ce rayonnement s'effectue par des décompositions et recompositions de fluide électrique. Il résulte de là que, lorsqu'on élève la température d'un corps, on met en mouvement une plus grande quantité de fluide électrique; circonstance très-favorable au développement des affinités, comme nous le verrons plus loin.

Les phénomènes thermo-électriques nous révèlent aussi de nouveaux rapports entre la chaleur et l'électricité, rapports qui établissent entre ces deux agents une dépendance mutuelle, laquelle ne tend rien moins qu'à nous les montrer comme dérivant du même principe.

Considérons un circuit fermé, composé de deux fils de métal différent, soudés bout à bout. Quand la température est la même à chacune des soudures, il n'y a aucun dérangement apparent dans l'équilibre des forces électriques, puisque tout est semblable de part et d'autre; mais, dès l'instant qu'il y a une différence de température, il se produit un courant électrique, dont nous avons étudié la nature et la direction dans les circuits formés de différents métaux. Il n'y a d'exception à cette règle générale que dans quelques cas particuliers, qui ne pourront manquer de jeter du jour sur la question électro-chimique. Sans entrer dans de nouveaux développements à cet égard, nous dirons seulement que, lorsque la température d'une des soudures reste con-

stante et qu'on élève celle de l'autre, les effets thermo-électriques paraissent dépendre de la conductibilité électrique des métaux et de leur capacité pour la chaleur; mais la chaleur spécifique semble particulièrement exercer une grande influence, car la plupart des métaux qui ont le plus de chaleur spécifique, sont aussi ceux qui, dans les chaînes thermo-électriques, prennent l'électricité positive. Il est facile de concevoir, en outre, comment le pouvoir conducteur influe sur la direction du courant : lorsque le foyer de chaleur est appliqué à la surface de contact des deux métaux, la chaleur ne se propageant pas également dans chacun d'eux, il doit en résulter des effets électriques dont la différence produit un courant; si l'on y joint encore l'influence de la chaleur spécifique, on voit combien le phénomène devient composé.

D'après les considérations précédentes, nous devons considérer la chaleur comme formée de la réunion des deux électricités, mais avec cette condition essentielle que la chaleur, en général, ne produit les deux électricités, et les deux électricités de la chaleur, qu'autant que le mouvement dans les corps de l'une et des deux autres est gêné par une cause quelconque. Quand cette cause n'existe pas, la chaleur passe sans manifestation d'effets électriques et le courant sans production de chaleur. Voilà comme il faut envisager, dans l'état actuel de la science, les rapports qui lient la chaleur et l'électricité.

Il nous semble que l'on peut expliquer maintenant pourquoi les corps s'échauffent quand on les frotte ou qu'on les frappe à coups redoublés avec d'autres corps. En ébranlant leurs molécules, on met en liberté, à chaque instant, une grande quantité des deux électricités qui leur étaient associées, et qui, en se recombinant, produisent de la chaleur.

613. Nous évitons, comme on le voit, d'émettre des idées abstraites ou métaphysiques, que l'esprit ne saisit que difficilement, et qui ne jettent par conséquent que de la confusion dans la science. Abordons maintenant

les actions chimiques, en suivant toujours le même plan.

Nous savons que, lorsqu'un acide se combine avec un alcali, le premier prend de l'électricité positive, et le second de l'électricité négative ; ces deux électricités, en se recombinant immédiatement dans la liqueur, reforment du fluide neutre, et produisent autant de courants partiels qu'il y a de particules agissantes. Or, cette multitude de petits courants ne pouvant traverser le liquide à la surface de contact sans éprouver une résistance proportionnée à leur nombre, il en résulte une élévation de température qui est en rapport avec l'énergie de l'action chimique.

Dans les décompositions électro-chimiques, les effets électriques sont inverses, c'est-à-dire que l'acide prend l'électricité négative, et l'alcali l'électricité positive.

De cette différence d'effets nous concluons, comme nous l'avons déjà fait pour la force d'agrégation, que si l'électricité ne constitue pas les affinités, elle est du moins indispensable à leur manifestation, puisqu'elle se montre toujours quand celles-ci s'exercent, soit dans les combinaisons, soit dans les décompositions.

Les acides, avons-nous dit, quand ils se combinent avec les alcalis, prennent de l'électricité positive, et de l'électricité négative quand ils s'en séparent. Ils se comportent donc, conformément aux idées de M. Ampère, comme des corps éminemment négatifs, entourés d'électricité positive, dont ils se débarrassent dans les combinaisons, pour la reprendre à l'éther ou aux corps environnants dans les décompositions en leur laissant l'électricité négative; d'où résultent des effets électriques contraires. Les alcalis, par la même raison, se comportent comme des corps éminemment électro-positifs. Cette explication est certainement très-séduisante, et elle a beaucoup de faits en sa faveur. Elle nous permet aussi de concevoir comment les atomes peuvent rester en contact dans les combinaisons, puisque cette permanence dans le contact ne serait que le résultat des actions

contraires exercées par les deux atomes ne possédant pas chacun la même espèce d'électricité; mais nous lui opposerons une observation qui ne s'accorde pas avec cette électricité inhérente aux atomes; observation déja ancienne, que M. Faraday a si bien développée, savoir, que l'énergie de l'action décomposante de la pile est en rapport direct avec l'affinité chimique des substances sur lesquelles elle agit, c'est-à-dire qu'une substance ne peut être transportée, ou passer d'un pôle à l'autre, qu'autant qu'elle est en rapport avec quelque autre élément tendant à passer dans une direction opposée. Ce fait, qui est incontestable, prouve, suivant nous, que l'état électrique des atomes dans les composés, que nous avons reconnu être essentiel à leur existence, dépend uniquement des affinités en vertu desquelles leurs parties constituantes se sont réunies, de sorte qu'une de ces parties, considérée isolément, ne saurait être influencée par un courant. Mais, quoique la base fondamentale de la théorie de M. Ampère ne puisse être admise, c'est-à-dire l'état électrique permanent des atomes, lequel est dissimulé par la présence d'atmosphères d'électricité contraire, nous sommes cependant forcés d'adopter quelques-unes de ses vues ultérieures, comme on va le voir; en effet, tous les faits observés jusqu'ici tendent à prouver qu'à l'instant où l'action chimique s'exerce entre un acide et un alcali, les particules acides, qui sont toujours environnées d'une certaine quantité de fluide naturel dépendante de leur nature, perdent leur électricité positive et conservent leur électricité négative, qui fait corps avec elles tant que dure la combinaison, tandis que dans la décomposition, les mêmes particules recouvrent leur électricité naturelle en prenant aux corps environnants l'électricité positive dont elles ont besoin pour neutraliser l'électricité négative qui constituait leur état de combinaison. C'est par un motif semblable que les particules alcalines, à l'instant de leur combinaison avec les acides, s'entourent d'atmos-

phères d'électricité positive, dont l'intensité est égale à celle des atmosphères d'électricité négative des particules acides. Quand la combinaison est effectuée, l'action de ces atmosphères se trouve naturellement neutralisée par leur attraction réciproque, qui maintient le contact. D'après cela, l'électricité n'est donc qu'un effet résultant de l'action des affinités; mais un effet qui est indispensable à la permanence des combinaisons, puisqu'en enlevant cette électricité on détruit celles-ci. Les phénomènes relatifs aux décompositions électro-chimiques viennent confirmer cette manière de voir.

Si l'on avait un moyen rigoureux de mesurer l'intensité on ne changera rien, on pourrait comparer ensemble les affinités chimiques des corps; les découvertes récentes de MM. Faraday et Wheatstone laissent entrevoir l'époque où l'on opérera cette détermination.

L'enchaînement est tel entre les forces électriques et les affinités, que, lorsqu'on affaiblit l'action des premières, on diminue dans le même rapport l'action des secondes, et qu'en anéantissant celles-là, on détruit également les dernières. Il existe donc entre elles un rapport tel que l'une ne peut exister sans l'autre.

Si les particules des corps acides ou alcalins étaient aussi fortement électro-négatives ou électro-positives que le pense M. Ampère, un acide ou un alcali dissous dans l'eau devrait montrer une certaine aptitude à se rendre au pôle positif ou au pôle négatif, en raison de son électricité propre; mais l'expérience prouve que la tendance de l'un ou de l'autre pour se rendre à l'un des pôles est inappréciable. Cette remarque n'est nullement favorable à l'opinion du physicien français. Nous concevons actuellement comment la chaleur peut exalter les propriétés chimiques des corps; en mettant en mouvement l'électricité, elle peut, jusqu'à un certain point, augmenter l'intensité des atmosphères, et par suite l'attraction des molécules qui en est dépendante. Jusqu'ici il n'a nullement été question de ce qui se passe dans le contact de deux corps, non suivi d'une combinaison.

Nous voilà ramenés naturellement aux effets électriques de contact dont l'existence a été combattue par tous les partisans de la doctrine électro-chimique. Quant à nous, le lecteur a pu voir que nous nous sommes rangés sous la bannière de ces derniers; mais nous ajouterons cependant que nous pensons qu'il peut très-bien se faire que lorsque deux corps sont en contact, les affinités commencent à exercer leur action, avant qu'il y ait combinaison, et qu'il en résulte des effets électriques par suite du trouble qui survient dans la position d'équilibre des molécules; nous jetons seulement cette idée en avant.

Dans les composés chimiques, avons-nous dit, les atomes hétérogènes sont entourés d'atmosphères électriques dont la nature dépend de celle de ces atomes et qui sont essentielles à l'existence de ces composés, puisque ce sont elles qui paraissent maintenir leur contact. Nous pouvons expliquer maintenant l'action décomposante de la pile; mais comme les effets de chaleur doivent toujours être pris en considération dans l'explication des phénomènes électro-chimiques, nous devons rappeler d'abord, en raison de ses conséquences, une expérience intéressante de Davy (438), qui prouve que, dans les décompositions opérées avec la pile, la chaleur dégagée dépend moins du pouvoir conducteur de la solution que de l'énergie avec laquelle s'effectuent ces décompositions. Ce fait nous indique, conformément aux idées énoncées précédemment sur la chaleur, que plus l'action chimique est active, plus il y a d'électricité mise en liberté, et plus aussi il y a de fluide neutre de réformé et par conséquent de chaleur dégagée.

614. Avant de donner la théorie des décompositions électro-chimiques, nous croyons devoir présenter encore quelques considérations sur les causes d'où elles peuvent dépendre; ne perdons pas de vue d'abord que les particules acides sont entourées d'atmosphères d'électricité négative, qui exercent une action attractive et neutralisante sur les atmosphères d'électricité positive, propres aux particules alcalines. Cette

neutralisation, qui est analogue à celle que l'on observe dans deux corps mauvais conducteurs en contact, chargés d'électricité contraire, n'empêche pas que les particules, quand on les sépare, ne reprennent, les unes et les autres, aux milieux environnants, les électricités contraires, dont elles ont besoin pour recomposer l'électricité naturelle propre à chacune d'elles. D'un autre côté, les expériences de M. Nobili, sur les apparences électro-chimiques, nous apprennent que ces apparences se refoulent, comme si les anneaux dont elles sont formées étaient forcés de reculer les uns sur les autres. Or, nous savons par les expériences de M. Ampère, que les parties successives d'un même courant se repoussent, et comme les observations de M. Nobili nous montrent aussi que les éléments transportés par ce courant participent à la même répulsion, cet effet ne peut avoir lieu qu'autant que les éléments sont, en quelque sorte, combinés avec le courant. Nous avons déja dit que, dans la décomposition d'un sel, l'acide prenait l'électricité négative, et la base l'électricité positive; il résulte de là, qu'à l'instant où la particule acide est à l'état naissant, elle est éminemment négative, attendu qu'elle n'a pas encore repris aux corps environnants l'électricité positive qui lui est nécessaire pour reformer son fluide neutre et rentrer, par conséquent, dans l'état naturel. Si donc, lorsqu'elle a repris son état naturel, on la rend négative, elle se trouve dans la même position que si elle était à l'état naissant.

615. L'électricité positive en mouvement forme-t-elle un courant dirigé dans un sens, et l'électricité négative un courant dirigé en sens contraire, lesquels courants, en raison de la différence dans leur mode d'action, constituent un courant unique? On a prétendu qu'il ne pouvait pas en être ainsi, attendu qu'on n'a jamais pu encore isoler un courant de l'autre. Nous demanderons d'abord comment on a fait pour isoler ces deux courants, et s'il y a possibilité de reconnaître si un courant a été séparé de l'autre. Nous savons, d'un autre

côté, que l'électricité positive libre traverse plus facilement les milieux résistants que l'électricité négative; que l'électricité voltaïque en mouvement jouit de la même propriété : d'après cela, n'est-on pas en droit d'admettre que l'électricité positive en mouvement jouit de propriétés qui ne sont pas identiquement les mêmes avec celles qui sont propres à l'électricité négative également en mouvement. Cette considération a été négligée jusqu'ici par les physiciens qui ont essayé de rendre compte de l'action chimique de l'électricité.

L'expérience prouve, sauf très-peu d'exceptions, que toutes les fois qu'un courant suffisamment énergique traverse une solution, il opère la séparation de ses parties constituantes. Doit-on en conclure réciproquement que, si une solution ne transmet pas un courant, c'est qu'elle ne peut être décomposée par lui : cela a lieu en général, mais cette conclusion ne paraît pas vraie dans tous les cas; en effet, parmi les corps solides, il y en a qui sont conducteurs et ne sont pas décomposés, tels que les métaux, le charbon, etc.; et d'autres qui ne sont pas conducteurs et ne sont pas par conséquent décomposés, tels que le verre, le soufre, les résines, etc. L'électricité peut donc cheminer, dans les premiers, sans avoir besoin pour cela de transporter avec elle des éléments matériels : pourquoi n'en serait-il pas de même dans les corps liquides, dont la constitution est la même, sauf l'état d'agrégation qui n'est pas semblable. S'il y a presque toujours décomposition dans ces derniers, il peut se faire que cela tienne à ce que la force d'agrégation étant très-diminuée, les affinités entre les particules sont plus facilement vaincues. Nous ne prétendons pas que le principe de M. Faraday soit faux, mais nous ne pensons pas, en bonne logique, qu'il puisse être admis sans réserve.

616. Ces préliminaires posés, nous envisageons ainsi l'action décomposante de l'électricité. Considérons d'abord l'effet produit par l'action d'un seul couple, zinc et cuivre, sur l'eau pure acidulée ou alcaline, peu importe,

attendu que l'électricité produite est due uniquement à l'oxidation du zinc et à la décomposition de l'eau. Quand le zinc plonge dans cette eau, il réagit sur elle, de manière à opérer très-lentement sa décomposition, d'où résulte un dégagement d'électricité; l'oxigène, en se séparant de l'hydrogène pour se combiner avec le métal, emporte avec lui son atmosphère d'électricité négative; mais la particule zinc ayant besoin d'une atmosphère d'électricité positive pour constituer sa combinaison avec l'oxigène, chasse dans les corps environnants son électricité négative, qui est égale en intensité à celle de l'oxigène, laquelle se rend dans le cuivre aussitôt que le contact avec l'autre métal est établi, et débouche ensuite dans le liquide. Mais l'hydrogène à l'état naissant, se trouvant enveloppé d'électricité positive, est transporté par l'effet du courant jusqu'au cuivre, où il reprend l'électricité négative, dont il a besoin pour reformer son électricité naturelle. Sans le contact du cuivre, l'action est faible et lente, attendu que l'affinité de l'oxigène pour le zinc est contre-balancée par son action sur l'hydrogène; avec le contact, elle est au contraire énergique et rapide, parce que les deux forces électriques, qui servaient à maintenir la combinaison de l'oxigène avec l'hydrogène, devenant libres et agissant dans un sens opposé à celui de leur action primitive, sont employées à détruire cette même combinaison.

Passons au cas où le courant est produit par une pile voltaïque; l'explication de la décomposition ne présente non plus aucune difficulté, si nous admettons que ce courant est le résultat d'un mouvement ondulatoire imprimé au fluide que nous appelons électricité naturelle; en effet, aussitôt que l'électricité positive débouche dans la solution, elle doit imprimer également à l'électricité positive inter-moléculaire du composé une impulsion semblable à celle qui l'anime. Or l'électricité positive ne peut être déplacée qu'autant qu'elle emporte avec elle les molécules d'hydrogène dont elle constitue l'atmosphère. Ces molécules seront donc forcées de voyager du pôle po-

sitif au pôle négatif, ou elles seront arrêtées parce qu'elles ne pourront traverser la lame de métal comme l'électricité positive; de même l'électricité négative qui est en mouvement emporte avec elle les molécules d'oxigène qui sont transportées par le courant jusqu'à la lame positive, où elles deviennent libres. Bien entendu que les deux molécules d'hydrogène, en quittant la molécule d'oxigène, pour se rendre au pôle négatif, se combinent momentanément avec la molécule d'oxigène, qui est elle-même emportée vers le pôle positif par l'électricité négative; ainsi de suite.

Il résulte de ce mode d'actions une suite de décompositions et de recompositions chimiques de molécule à molécule jusqu'aux lames métalliques, où la décomposition devient définitive.

Aussi les portions de la solution qui sont contiguës aux lames décomposantes doivent-elles éprouver les premières les effets de la décomposition, comme l'a observé M. Delarive.

617. Toutes les considérations que nous venons de présenter montrent bien qu'il existe une identité complète entre les affinités et les forces électriques, en ce sens que l'électricité, qui est associée aux particules d'un composé chimique, maintient l'action des affinités et représente par conséquent la force qui tient unies ensemble les particules, de telle sorte que, pour vaincre ces affinités et séparer ces particules, il faut employer un courant électrique au moins égal à celui que produiraient les deux électricités qui leur sont associées, si elles devenaient libres. Nous n'en concluons pas pour cela la conséquence que la cause des affinités est purement électrique, attendu que tous les faits observés jusqu'à présent prouvent seulement que les forces électriques, qui concourent au maintien des combinaisons, se développent par l'action des affinités; c'est donc un effet qui devient la cause de la permanence du contact des particules. Voilà, en général, comme il faut envisager le rôle que joue l'électricité dans les actions chimiques.

Il résulte des rapports que nous venons d'établir entre les forces électriques et les affinités, que si l'on communique à deux éléments les états électriques qu'ils doivent avoir dans leur combinaison, la combinaison s'opère alors immédiatement, parce qu'ils se trouvent alors à l'état naissant : ce principe, qui est fécond en applications, comme nous le verrons dans le volume suivant, sert à expliquer un grand nombre de phénomènes naturels, à l'origine desquels on n'a pu remonter que depuis quelques années.

Nous voyons bien que lorsque deux corps réagissent chimiquement l'un sur l'autre, ils s'entourent d'atmosphères d'électricité contraire, qui sont indispensables au maintien de la combinaison; mais comment les affinités peuvent-elles produire un semblable phénomène? C'est ce que nous ignorons tous. Les faits manquent pour pénétrer ce mystère.

Les considérations générales que nous venons de présenter permettent de rattacher les phénomènes chimiques à quelques principes généraux qui en simplifient l'étude. Nous avons voulu donner, dans ce volume, les faits qui doivent servir de base à la nouvelle théorie électro-chimique, afin de pouvoir les appliquer ensuite à l'explication d'une foule de phénomènes naturels, dont l'origine paraît être électrique; c'est alors que l'on pourra juger du rôle important que joue l'électricité dans la nature, en la considérant d'abord comme effet et ensuite comme cause.

DES PILES

THERMO-ÉLECTRIQUES

ET

DE LEURS APPLICATIONS A LA PHYSIQUE GÉNÉRALE.

LIVRE VI.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA CONSTRUCTION DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES.

618. Avant de continuer l'étude des phénomènes électro-chimiques, nous croyons convenable d'entretenir le lecteur des piles thermo-électriques et de leurs applications, afin de lui faire connaître des instruments précieux, dont on peut disposer pour une foule de recherches relatives non seulement à l'électricité, mais encore à la physique générale et dont nous aurons nous-mêmes besoin plus tard. Bien des tentatives ont été faites pour former des piles thermo-électriques, à l'instar de l'admirable instrument que nous devons au génie de Volta; mais elles n'ont pas été couronnées de succès comme celles de MM. Nobili et Melloni. Ces deux physiciens ont construit en commun une pile thermo-électrique, avec laquelle ils ont fait des expériences inté-

ressantes sur la chaleur rayonnante (1); mais nous nous bornerons à décrire le même appareil perfectionné par M. Melloni.

La pile dont M. Melloni fait usage se compose de cinquante petits barreaux de bismuth et d'antimoine placés parallèlement les uns à côté des autres et formant un seul faisceau prismatique FF' (fig. 136), dont la longueur est de 30 millimètres et la section de 96 cent. carrés. Les deux faces terminales sont noircies. Les barreaux de bismuth, qui se succèdent alternativement avec ceux d'antimoine, sont soudés à leurs extrémités et séparés dans toute leur longueur par une substance isolante. Le premier et le dernier barreau portent chacun un fil de cuivre qui vient aboutir à l'une des chevilles *c c'*, de même métal, passant à travers un morceau d'ivoire fixé sur l'anneau AA'. L'intervalle compris entre la surface intérieure de cet anneau et les éléments de la pile est rempli de matière isolante. Les extrémités libres des deux fils sont mises en commuication avec les bouts du fil d'un multiplicateur, dont les mouvements de l'aiguille indique quand la température de la face antérieure de la pile s'élève ou s'abaisse, par rapport à celle de la face postérieure.

Au moyen d'une charnière convenablement placée, l'axe de la pile peut être placé sous différentes inclinaisons. Pour garantir les faces des rayonnements latéraux, on adapte sur les deux côtés de l'anneau les tubes de métal B, B', brillants à l'extérieur et noircis intérieurement.

Le multiplicateur est représenté fig. 137; ABC est le châssis enveloppé par le fil de cuivre, dont les bouts aboutissent aux tubes métalliques FF'. Ce châssis est fixé sur un plateau horizontal DE, qui peut tourner, dans son plan et autour de son centre, au moyen d'une roue dentelée à pignon, placée en dessous et mise en

(1) Ier volume, page 245.

mouvement par le bouton G. H M N est le support du système astatique des deux aiguilles aimantées, suspendu à un fil de cocon V L. R S est le cylindre de verre qui enveloppe l'appareil et repose sur la base K I. La fig. 138 représente la coupe de cet appareil, suivant un plan qui passe par le soutien et l'un des tubes de communication.

Le cadran n'est point fendu en losange, sur le diamètre passant par le zéro de division, comme on le fait ordinairement; mais il est percé, à sa partie centrale, d'une petite ouverture circulaire et porte une fente assez étroite, qui le coupe en deux, depuis le centre jusqu'au bord postérieur. Cette disposition a l'avantage de faire juger si le fil de suspension se trouve sur l'axe. Les figures 137 et 138 indiquent suffisamment les divers accessoires de l'appareil pour que nous nous dispensions de donner de plus amples détails à cet égard.

Quand on veut transporter le multiplicateur, on commence par abaisser les aiguilles, jusqu'à ce que l'aiguille supérieure vienne se poser sur le cadran; puis, on dévisse l'écrou Q, on retire la cloche, et, après avoir mis sur une des moitiés de l'index un large ruban de soie, de manière que les deux bouts en ressortent par les bords du cercle métallique Y Z, on remet en place la cloche et l'écrou; alors le fil de cocon ne soutenant plus aucun poids, et les aiguilles étant presque immobiles par la pression du ruban, on peut faire parcourir à l'instrument de grandes distances, sans craindre de le déranger.

619. M. Nobili a remarqué le premier que les aiguilles aimantées des multiplicateurs les plus sensibles ont deux positions d'équilibre stable, situées à la même distance, de chaque côté du diamètre qui passe par le zéro du cadran; en sorte que l'index amené sur cette ligne s'y trouve nécessairement dans un état d'équilibre instable et tombe toujours dans l'une ou l'autre des deux positions primitives. M. Melloni est parvenu à obtenir un multiplicateur qui ne présente pas cet in-

convénient, c'est-à-dire dans lequel l'aiguille garde toujours le zéro.

Les deux positions d'équilibre, dont nous venons de parler, dérivent de l'action magnétique du fil de cuivre, dont les circonvolutions supérieures sont partagées en deux masses, afin de pouvoir introduire dans l'intérieur du châssis une des aiguilles aimantées. Or, il est facile de voir que ces deux centres d'attraction constituent un inconvénient très-grave. En effet, supposons un multiplicateur très-sensible, dans lequel la force magnétique du cuivre ne soit pas nulle.

On sait que le système à aiguilles compensatrices n'éprouve pas la même action aux différentes parties du cadran, le plus faible courant d'électricité qui circule dans le fil suffit pour lui faire parcourir les premiers degrés de l'échelle, tandis que le même courant est à peine capable de le mettre en mouvement, à une déviation préexistante de 50 ou 60 degrés. La partie la plus sensible de l'échelle est dans l'arc des 15 ou 20 premiers degrés. De plus, comme nous l'avons déja dit, l'expérience prouve que, dans toute l'étendue de cet arc, les forces de déviation sont sensiblement proportionnelles au degré, lorsque le fil est uniformément distribué sur le châssis et qu'il occupe, comme dans nos multiplicateurs, toute la largeur de la corde qui s'étend à 34 ou 35 degrés de chaque côté du zéro. Maintenant, en faisant intervenir l'action magnétique du cuivre, si l'index est placé au zéro, il tombera dans l'une ou l'autre des deux positions d'équilibre stable, qui se trouvent à 4, 6, 7 et quelquefois jusqu'à 10 degrés. Mais pour l'écarter davantage, ou le ramener vers le zéro, il faut nécessairement vaincre la résultante la plus rapprochée des attractions émanées du cuivre; cette force diminuant des deux côtés, à mesure que la distance à la position d'équilibre augmente contrarie donc la série naturelle des forces motrices; car, si les deux centres d'attraction sont placés à 5 degrés, par exemple, l'effort nécessaire pour faire passer l'in-

dex de 5 degrés à 6 degrés, ou de 5 degrés à 4 degrés, sera plus grand que celui qu'il faudra employer pour le pousser de 6 degrés à 7 degrés, ou de 4 degrés à 3 degrés. Ainsi l'action magnétique du cuivre diminue non-seulement la sensibilité du multiplicateur, mais elle altère la proportionnalité qui aurait lieu naturellement entre les degrés et les forces de déviation dans les arcs rapprochés du zéro. Or, lorsque cette proportionnalité n'a pas lieu, il est impossible d'appliquer les méthodes connues pour déterminer les forces correspondantes à chaque degré du multiplicateur; il en résulte qu'alors l'instrument, au lieu de mesurer l'intensité des courants électriques, n'indique plus que leur différence. Nous avons dit que les deux positions d'équilibre stable, autour du zéro, varient dans les différents multiplicateurs; nous ajouterons qu'elles varient aussi en ajustant successivement le même système astatique sur ces divers instruments. Ce magnétisme du cuivre, qui réagit dans cette circonstance sur les aiguilles, est dû en partie au fer que renferme ce métal.

M. Melloni a reconnu que les meilleurs cuivres faisaient toujours dévier les systèmes astatiques de plusieurs degrés. Des fils d'argent furent essayés aussi par lui, et divers essais lui montrèrent que ces fils étaient plus magnétiques que ceux de cuivre. M. Gourjon (1), qui s'est associé à M. Melloni pour la construction des appareils que nous décrivons ici, est parvenu cependant à se procurer une masse de cuivre, qui, façonnée en fils, lui a permis de construire des multiplicateurs dont l'aiguille garde le zéro.

Les mêmes difficultés que l'on éprouve ordinairement pour le fil de cuivre se présentent aussi dans la cons-

(1) On trouve, chez M. Gourjon, à Paris, tous les appareils dont nous donnons ici la description, ainsi que la plupart de ceux avec lesquels on peut répéter nos expériences, et qui sont exécutés avec une grande précision.

truction du châssis, du plateau tournant et de la plaque métallique qui porte le cercle divisé. M. Gourjon, pour les vaincre, a été obligé de faire préparer du laiton très-pur. Pour terminer ce que nous avons à dire sur la construction du thermo-multiplicateur, nous ajouterons que les aiguilles ont 53 millimètres de longueur; que le fil de cuivre a un diamètre de $0^{mm},76$; qu'il est doublement couvert de soie, et qu'il fait 150 circonvolutions autour du châssis. Le châssis a 6 millimètres de hauteur, sur une longueur un peu plus grande que celle des aiguilles.

CHAPITRE II.

§ Ier. *Emploi de la pile thermo-électrique, pour la détermination des propriétés de la chaleur rayonnante qui traverse les corps.*

620. Nous avons déja dit que MM. Nobili et Melloni s'étaient servis avec avantage d'une pile thermo-électrique pour déterminer la chaleur propre aux insectes, celle qui est produite dans la combustion lente du phosphore, etc. (1). Ce même instrument est devenu entre les mains de M. Melloni la source de découvertes importantes, relatives à l'action de certains corps cristallisés sur la chaleur obscure. Nous en parlerons d'abord, en suivant la marche qu'il nous a indiquée lui-même, avant de donner un aperçu des travaux qu'il a exécutés en commun avec M. Nobili.

M. Melloni emploie dans ses expériences des sources calorifiques de diverses natures, des écrans et des soutiens.

Les sources de chaleur à température constante que l'on emploie dans les expériences sont fournies par la flamme de deux lampes, l'une dite de Locatelli (fig. 139),

(1) Tome Ier, page 145.

l'autre à alcool (fig. 140). Cette dernière donne deux sources différentes, au moyen d'une spirale en platine et d'une plaque de cuivre noircie portées par des tiges soudées (fig. 141), que l'on fait entrer dans un tube placé latéralement sur le support S (fig. 142). Alors la spirale enveloppe la flamme, et la plaque la couvre à la partie antérieure seulement (fig. 143). Dans le premier cas, on a une source incandescente sans flamme; dans le deuxième, on a une source de chaleur obscure, dont la température moyenne est d'environ 400° centigrades.

Les écrans diathermaux sont des morceaux ou des lames de différents corps naturels ou artificiels, polies sur les deux grandes faces parallèles, qui ont une largeur un peu plus forte que celle de l'ouverture de l'écran E' (fig. 142). On les pose tout simplement sur la plaque horizontale S, au-devant de l'ouverture O, lorsqu'ils sont assez épais pour se soutenir d'eux-mêmes ; autrement, avant de les placer ainsi, on les fixe par leur bord inférieur dans une entaille pratiquée sur une plaque de liége, inférieurement garnie de plomb pour les empêcher de tomber (fig. 144).

Quant aux écrans E, E'', ils consistent en un système de lames métalliques parallèles, parfaitement polies, portant à leur partie supérieure un bouton en ivoire, et à la partie inférieure une charnière, au moyen de laquelle on les abaisse dans un plan vertical, perpendiculaire à celui qui passe par la rainure R, R'. L'un d'eux E'' sert à intercepter ou à établir la communication calorifique entre la source et la face antérieure de la pile; l'autre est principalement destiné à abriter la seconde face de la pile, des rayonnements extérieurs, lorsque son tube est ouvert; ce que l'on doit pratiquer dans presque toutes les expériences, afin que l'air ambiant soit en contact libre avec les deux parties actives de la pile, et puisse leur faire partager à chaque instant sa propre température.

621. Étudions la marche du thermo-multiplicateur,

quand on l'expose à un rayonnement calorifique constant; supposons l'appareil monté comme dans la figure 142. Si l'on ôte les corps placés sur le support S et que l'on abaisse l'écran E'', les rayons calorifiques de la source passent par l'ouverture O et tombent sur la face antérieure de la pile. En regardant l'index du multiplicateur, on le voit aussitôt sortir de sa position d'équilibre et décrire un arc de 7 ou 8 degrés; puis rétrograder de quelques degrés, revenir vers sa direction primitive, et, après quelques oscillations de plus en plus lentes, se fixer enfin à une déviation un peu moindre que celle qu'il avait éprouvée d'abord.

M. Melloni a trouvé que pour des impulsions dans son appareil de 10°, 20°, 30°, 40°, 50°, l'index a pris à très-peu près les déviations fixes de 10°, 19°, 28°, 36°, 43°.

Un certain nombre d'observations suffisent pour construire par interpolation une table, au moyen de laquelle on détermine les déviations définitives, correspondantes aux arcs d'impulsion. Cette table est importante et abrège beaucoup le temps des observations.

Les déviations correspondantes à deux rayonnements calorifiques divers étant données, pour avoir le rapport d'intensité de ces deux rayonnements il faut reconnaître les relations existantes entre les degrés du galvanomètre et les forces de déviations dans tous les points du tableau. Nous avons déja décrit les méthodes (1) pour faire cette détermination; ainsi nous n'y reviendrons pas.

Dans les expériences que nous allons rapporter, il suffira de comparer immédiatement les arcs, pour avoir le rapport d'intensité.

Pour déterminer les intensités relatives des rayonnements calorifiques provenant de deux sources différentes, il suffit de placer successivement les deux sources de chaleur sur le plateau S, et d'observer l'action

(1) Tome Ier, p. 31.

qu'elles produisent sur le thermo-multiplicateur, lorsque l'on abaisse l'écran E″. Les expériences de transmission peuvent se faire sur des rayonnements plus ou moins forts; mais le plus convenable est celui qui maintient l'aiguille à 30°. On place, en conséquence, la lampe de Locatelli à la distance convenable pour obtenir cette déviation, en ayant soin que le support S et l'écran percé E′ se trouvent à 10 ou 15 centimètres de la pile. Si l'on place alors au-devant de l'ouverture O une plaque de verre ou de toute autre substance diaphane, l'index du multiplicateur descend vers le zéro et se fixe à une seconde position d'équilibre; supposons-la de 16 degrés. Cette déviation de 16 degrés n'est pas produite par l'échauffement du verre, mais bien par des rayons de chaleur qui le traversent immédiatement. Pour le prouver, on relève l'écran E″, et on substitue à la plaque de verre une seconde plaque de même substance et de même épaisseur, noircie sur l'une de ses faces à l'encre de Chine; puis on abaisse de nouveau l'écran E″; l'aiguille ne change pas de position, quelle que soit la durée de l'expérience.

Comme parmi les écrans diaphanes il y en a de plus minces et de meilleurs conducteurs que la plaque de verre, et que l'on pourrait attribuer une partie de la déviation produite à l'une ou à l'autre de ces deux circonstances, on prend une lame de cuivre noircie et un petit carré de papier que l'on met successivement à la place du verre. On trouve que l'index conserve toujours sa position naturelle d'équilibre, malgré l'excellente conductibilité du premier écran.

On pourrait dire que l'effet produit dans le cas de la plaque diaphane est produit par de la chaleur apportée, instantanément, par les rayons lumineux sur tous les points de la masse; mais pour détruire cette objection, il n'y a qu'à relever l'écran E″, retirer les plaques diaphanes, et les exposer latéralement, et à la même distance de S, au rayonnement de la source, puis les remettre sur le soutien, en laissant toujours inter-

ceptée la communication rayonnante de la pile à la source : l'aiguille reste encore immobile. M. Melloni a fait une expérience, que nous ne rapportons pas ici, et qui montre que la chaleur rayonnante se transmet instantanément, comme la lumière, à travers les milieux transparents.

622. Maintenant, si l'on prend trois plaques bien transparentes, d'une épaisseur commune de 3 à 4 millimètres, l'une d'alun, l'autre de sel gemme, et la troisième de verre ou de cristal de roche, et qu'on les présente successivement devant l'ouverture O, lorsque la communication calorifique est établie, l'aiguille, qui se trouvait à 30 degrés, tombe à 3 ou 4 degrés, pendant que les rayons traversent l'alun; elle marche encore vers sa position primitive et s'arrête à 28 degrés, dans le cas du sel gemme; elle retombe à 15 ou 16 degrés, par l'interposition du verre ou du cristal de roche. Il résulte de là que les plaques, également diaphanes et également épaisses, ne sont donc pas capables de transmettre la même quantité de chaleur rayonnante.

Si l'on substitue à l'alun un morceau de cristal de roche enfumé, à faces parallèles, d'une épaisseur beaucoup plus grande, l'index quittera sa position fixe, de 3 à 4 degrés, et se portera à 14 ou 15. Il résulte de là que de deux corps, également diaphanes, il peut arriver que le plus épais et le moins transparent transmette la plus grande quantité de rayons calorifiques.

Si l'on forme enfin deux couples de lames juxtaposées, l'un avec un verre vert, imperméable aux rayons rouges, et la plaque d'alun, l'autre avec un verre noir, parfaitement opaque, et la plaque de sel gemme, on verra, en les plaçant successivement devant l'ouverture O, que le premier couple ne donne aucune transmission sensible, et que le second produit une déviation de 7 ou 8 degrés; il existe donc des combinaisons de deux milieux, qui laissent passer une quantité notable de rayons lumineux et interceptent sensiblement tous les rayons calorifiques, tandis que d'autres agissent préci-

sément en sens contraire. Nous voyons par là que la transparence des corps pour la chaleur rayonnante est différente de la transparence proprement dite. M. Melloni appelle *diathermanes* les substances qui transmettent les rayons de chaleur, et celles qui les interceptent *athermanes*. Si l'on sépare maintenant le verre noir opaque et le verre vert accouplés aux lames de sel gemme et d'alun, on trouve que chacun d'eux, étant soumis au rayonnement de la lampe, donne une transmission de 7 ou 8 degrés.

Ce fait nous montre 1° *que certains corps sont diathermanes, quoique parfaitement opaques;* 2° que les verres verts de l'espèce que nous venons d'indiquer ne sont point athermanes par eux-mêmes, mais le deviennent accouplés à l'alun, qui est lui-même un peu diathermane.

M. Melloni a observé que les rayons de chaleur qui traversent l'acide citrique se transmettent par l'alun, en proportion beaucoup plus grande que les rayons directs de la source. En variant la nature des plaques, il a été conduit à ce principe, *que la chaleur rayonnante, en traversant une lame diaphane, subit une certaine modification qui la rend plus ou moins susceptible d'être transmise par telle ou telle autre substance transparente.*

623. M. Melloni, pour expliquer ces faits, suppose que la flamme contient plusieurs espèces de rayons calorifiques et que les substances diaphanes les plus incolores, telles que l'alun et l'acide citrique, possèdent une véritable colorisation calorifique, en vertu de laquelle ils interceptent certains rayons et en transmettent d'autres.

Les couleurs proprement dites ne paraissent avoir aucune action élective sur les rayons de chaleur; elles agissent seulement sur la transmission du calorique rayonnant, comme le font les matières brunes sur la transmission de la lumière.

Prenons toujours les trois plaques d'alun, de sel

gemme et de cristal de roche; si l'on substitue à la lampe de Locatelli le platine incandescent et que l'on approche plus ou moins le support S', afin de produire 30° de déviation par l'influence directe des rayons calorifiques, si l'on fait alors passer successivement les trois plaques devant l'ouverture O, on trouve que l'aiguille tombe à zéro pour l'alun, se place à 28° pour le sel gemme, et retombe à 13 ou 14° pour le cristal de roche.

En employant pour source de chaleur la lame de cuivre à 400°, on a une transmission nulle pour l'alun, et 1 à 2° seulement pour le cristal de roche; quant au sel gemme, l'aiguille se soutient encore à 28°. L'eau exerce sur la chaleur rayonnante une action tout-à-fait semblable à celle de l'alun.

Les expériences précédentes nous indiquent que la chaleur rayonnante possède une diathermansie particulière à la source d'où elle tire son origine. Quant au sel gemme, on doit le considérer comme un véritable milieu diathermane, sans diathermansie, transmettant également toutes sortes de rayons calorifiques.

624. On sait que lorsqu'on diminue graduellement l'épaisseur d'un milieu coloré, on arrive à une limite où ce milieu laisse passer toutes sortes de rayons lumineux. M. Melloni a observé un phénomène tout-à-fait semblable, relativement à la chaleur rayonnante, sur les substances diathermanes douées de diathermansie; il suffit pour le montrer de prendre des lames de plus en plus minces pour les voir acquérir peu à peu des propriétés approchantes de celles du sel gemme.

Un faisceau lumineux, qui traverse successivement plusieurs plaques de verre ou d'autres corps diaphanes, éprouve une réflexion partielle à chaque surface de séparation; voilà pourquoi la lumière passe en plus grande quantité à travers une série de plaques, lorsqu'on les réunit avec un mastic transparent. On obtient des effets semblables avec la chaleur rayonnante.

Des lames de cristal de roche, de sel gemme et de

spath d'Islande, taillées suivant plusieurs directions relativement aux axes de cristallisation, donnent le même résultat pour chaque série de plaques homogènes; ainsi *le sens suivant lequel on coupe ces plaques*, dans les corps cristallisés, *n'a donc aucune influence sur la quantité de rayons calorifiques immédiatement transmis*. Nous ajouterons à ce résultat celui-ci, que *la chaleur rayonnante ne se polarise point, par transmission, à travers les tourmalines.*

625. M. Melloni a montré que les rayons calorifiques obscurs sont susceptibles de réfractions, comme les rayons lumineux. Voici comment il a fait l'expérience: si, après avoir placé le soutien S' de la lame de cuivre chauffée à 400° et enlevé l'écran E', on tourne la tige de la pile sur son support, on arrive bientôt à une position telle, que les rayons de chaleur obscure lancée par la source ne peuvent plus entrer dans le tube et parvenir à la face antérieure de la pile; si alors on abaisse l'écran E'', il n'y a aucun mouvement dans l'aiguille.

Approchons maintenant de la pile le soutien S et plaçons assez près de l'ouverture du tube et dans le prolongement de son axe un prisme vertical de sel gemme, dont l'angle réfringent soit d'environ 60°, tourné du côté de l'angle que forme la ligne conduite de la source à l'extrémité du tube, on voit alors l'aiguille parcourir un arc plus ou moins étendu. En retournant l'angle réfringent en sens contraire, l'aiguille reviendra à sa position primitive. On voit par là que les rayons calorifiques peuvent être réfractés.

626. Pour effectuer les expériences relatives à la réflexion des rayons calorifiques, il faut changer les places respectives de l'écran E' et du soutien S, puis élever les tiges de l'écran et du support S', sur lequel on place le platine incandescent, et incliner enfin l'axe de la pile en le dirigeant vers l'ouverture O. L'appareil prend alors l'aspect indiqué dans la fig. 145, où il est facile de voir que les rayons de chaleur, qui viennent frapper

lé support S, peuvent parvenir à la pile, s'ils trouvent sur la partie centrale un corps susceptible de les réfléchir.

M. Melloni a commencé par montrer que la chaleur propre acquise par le corps réflecteur, sous l'action de la source rayonnante, n'exerce aucune influence sur les résultats; puis il a substitué à la plaque noircie des lames polies de différents corps, et a observé les déviations produites. Il a trouvé alors que l'eau et les liquides en général, la faïence, les émaux, les marbres, ne donnent qu'une déviation ne surpassant pas les 7 à 8°, lorsque les métaux poussent l'aiguille de 20 à 45°, selon leur nature et l'état de leur surface.

§ II. *Du rayonnement vers les objets éloignés et les espaces célestes.*

627. Si l'on supprime l'écran percé et que l'on remplace le tube noirci par un réflecteur conique de cuivre poli, ayant un angle de 20 à 25°, on recueille sur la pile une quantité beaucoup plus grande de rayons calorifiques, et la sensibilité devient alors très-considérable.

Si l'on dirige l'axe du réflecteur vers un récipient assez large de cuivre noirci, plein d'eau chaude, placé à une distance de 25 à 30 pieds, l'aiguille aimantée est déviée alors plus ou moins. Un effet analogue est produit par la seule chaleur d'une personne placée à la même distance.

On peut répéter, avec le thermo-multiplicateur, l'expérience de Wollaston, qui consiste à fixer dans une plaine découverte, à quelques pieds du sol, un miroir concave tourné vers le ciel, et à placer ensuite dans son foyer la boule d'un thermomètre. Si la température est assez élevée, le ciel pur et l'air calme, on voit le thermomètre marquer quelques degrés d'abaissement par la perte d'une portion de sa chaleur, qui frappe le miroir et se réfléchit vers les espaces célestes. Pour faire cette expérience avec le thermo-multiplicateur, il suffit

de poser la pile sur l'embrasure d'une croisée et de diriger le réflecteur vers le ciel; l'aiguille passe immédiatement du côté du froid : si de gros nuages viennent à traverser rapidement la plage céleste, vers laquelle est tourné l'axe du réflecteur, l'aiguille indique aussitôt un accroissement de température.

628. *Du pouvoir émissif.* Pour observer les pouvoirs émissifs ou rayonnants, on se sert d'un vase cubique dont les quatre faces latérales n'ont pas le même état de surface; l'ayant rempli d'eau bouillante, on le pose sur le support S'; en faisant tourner le support sur son axe, le cube présente successivement ses quatre faces au réflecteur; l'aiguille éprouve chaque fois une déviation différente. Si l'on veut avoir des résultats très-précis, il faut maintenir l'eau en ébullition, au moyen d'une petite lampe à alcool. Voici quelques uns des résultats obtenus de cette manière :

Noir de fumée	100
Carbonate de plomb préparé à la gomme pour les peintres en miniature	100
Colle de poisson	91
Encre de Chine	85
Gomme laque	72
Surface rayée	22
Surface brillante	12

629. *Du pouvoir absorbant.* On étudie ce pouvoir de la manière suivante : ayant ôté le support S (fig. 142) ainsi que sa tige, on pousse le tube qui la contenait tout près du réflecteur, et on y fait entrer un second tube peu étroit, et assez court pour que son extrémité reste un peu au dessous de la pile. On prend ensuite un disque de cuivre mince, un peu plus grand que l'ouverture du réflecteur; on le noircit d'un côté, après l'avoir mis de l'autre dans un certain état de surface, ou couvert d'une substance quelconque. Ce disque porte une petite queue d'ivoire, que l'on introduit dans

le double tube, en ayant le soin de tourner la face noircie vers la pile. Son centre se trouve alors sur la même ligne horizontale que l'axe du réflecteur. On met ensuite la lampe à huile sur le support S' et l'on abaisse l'écran E''. En peu de secondes, les rayons de chaleur, absorbés par la surface antérieure du disque traversant le métal, arrivent à la face noircie, et de là rayonnent sur la pile. La déviation de l'aiguille commence; elle augmente graduellement sans oscillation, et elle atteint un maximum stable, en cinq ou six minutes.

Pour obtenir les pouvoirs absorbants des différentes substances, on n'a qu'à les appliquer sur autant de disques semblables à celui que nous venons de décrire et à observer les maxima de déviation qui se produisent successivement, sous l'influence de chacun d'eux. M. Melloni, en prenant des disques couverts avec les mêmes substances que nous venons d'employer dans les expériences du pouvoir émissif, a obtenu les résultats suivants :

Noir de fumée.....	100
Carbonate de plomb.....	53
Colle de poisson.....	52
Encre de Chine.....	96
Gomme laque.....	43
Surface rayée.....	14
Surface brillante.....	21

En répétant les expériences d'absorption, à diverses distances de la source, on trouve constamment les mêmes rapports, ce qui prouve que le phénomène ne dépend pas de l'intensité; il était donc probable qu'il dépendait de la diathermansie; en effet, si les disques sont exposés successivement à l'action rayonnante du platine incandescent, de la plaque de cuivre chauffée à 400° et d'un vase de cuivre noirci, plein d'eau en ébullition, on trouve :

SUBSTANCES.	PLATINE incandescent.	CUIVRE NOIRCI à 400°	CUIVRE NOIRCI à 100°.
Noir de fumée.....	100	100	100
Carbonate de plomb....	56	89	100
Colle de poisson.....	54	64	91
Encre de Chine.....	95	87	85
Gomme laque.....	47	70	72
Surface brillante.....	18	15	14
Surface rayée.....	13,5	13	13

En faisant abstraction des deux derniers résultats, si l'on compare les autres à ceux des expériences précédentes, on trouve : 1° que les pouvoirs absorbants des surfaces varient considérablement avec l'origine des rayons calorifiques; 2° qu'ils se rapprochent de plus en plus des facultés respectives que possèdent ces mêmes surfaces, d'émettre des rayons de chaleur, quand elles sont échauffées à la température de l'eau bouillante, et qu'elles finissent par coïncider exactement avec les nombres qui représentent ces facultés, quand la température de la chaleur rayonnante atteint les 100°.

Relativement aux deux surfaces métalliques, nous ferons observer que le disque brillant absorbe plus de chaleur que le disque rayé. Ce fait s'explique facilement en réfléchissant à la nature des opérations que l'on est obligé de faire subir aux disques minces de métal pour leur communiquer ces deux états de surface.

On est obligé, en raison de leur minceur, d'avoir recours à une méthode qui les dresse et les polit en même temps. Cette méthode consiste à les frapper régulièrement, et à plusieurs reprises, avec un marteau plan et poli, après les avoir posés sur une petite enclume de même qualité. Si l'on regarde de près les surfaces brillantes, on y aperçoit, çà et là, des points noirâtres, dus à une espèce de crasse qui adhère à la surface. La surface rayée que l'on a employée est la même que la surface brillante précédente, que l'on a

frottée avec de l'émeri, qui enlevait une partie de cette crasse, et a mis le métal plus à découvert que dans la surface brillante. Or, plus un métal est décapé, moins il absorbe de chaleur rayonnante; voilà pourquoi l'absorption du disque rayé est moins forte que celle du disque brillant.

630. M. Melloni a trouvé que les miroirs ne changent pas, dans l'acte de la réflexion, les rapports de quantité qui existent entre les différentes espèces de rayons calorifiques, transmis par des milieux doués de diathermansie, c'est-à-dire qu'ils réfléchissent également toutes sortes de chaleur rayonnante.

Il a fait aussi quelques expériences touchant l'influence de la transmission sur le pouvoir absorbant. Si, entre la plaque et la source on interpose un écran de verre de trois à quatre lignes d'épaisseur, les rayons calorifiques seront forcés de le traverser avant de parvenir sur le disque enduit de substances absorbantes. La figure 146 représente le dispositif de l'expérience. P est la pile armée du réflecteur; L, la lampe allumée; E, le disque absorbant; V, l'écran de verre que l'on fixe sur le tube. La distance entre D et V est telle que le faible échauffement de la masse vitreuse n'a aucune influence sur les résultats.

Si l'on mesure les pouvoirs absorbants des différents disques employés précédemment, avant et après l'interposition du verre, on obtient :

	Avant.	Après.
Noir de fumée	100	100
Carbonate de plomb	53	24
Colle de poisson	52	45
Encre de Chine	96	100
Gomme laque	43	30
Surface brillante	21	39
Surface rayée	14	17

On voit par là que les absorptions que les surfaces

exercent sur les rayons directs de la source se trouvent altérées par la transmission.

631. M. Melloni a employé encore son appareil à étudier des phénomènes calorifiques qui exigent ordinairement le contact des thermoscopes. Nous croyons devoir en faire mention ici, dans l'intérêt de ceux qui se livrent à des recherches expérimentales.

Pour montrer, par exemple, que l'eau absorbe toujours de la chaleur en s'évaporant, on tend un linge sur un fil de métal, replié en cercle et muni d'une tige que l'on fait entrer dans le tube qui supporte l'écrou percé E' des premières expériences. En abaissant le double écran E'', aucune déviation n'a lieu dans le multiplicateur, attendu que la toile partage la température du milieu ambiant. Mais si l'on prend de l'eau à la même température que le milieu, et qu'on en mouille légèrement la surface postérieure du linge, le multiplicateur, quelques instants après, accusera un refroidissement, à cause de l'évaporation, qui se produit naturellement à la surface du tissu. Nous regrettons vivement de ne pouvoir donner plus d'extension aux recherches pleines d'intérêt de M. Melloni; mais notre but a été seulement de faire connaître ici l'emploi d'un appareil électrique qui est devenu, entre ses mains, la source de découvertes importantes.

FIN DU TROISIÈME VOLUME.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

SUITE DU LIVRE III.

CHAPITRE IV.

DE L'ACTION DE LA TERRE SUR LES COURANTS MOBILES.

Pages.

§ I. De l'action de la terre sur les courants mobiles rectilignes..... 1

§ II. Action de la terre sur les conducteurs fermés quelconques..... 11

CHAPITRE V.

DE L'ACTION DES COURANTS LES UNS SUR LES AUTRES.

§ I. Principes généraux..... 15

§ II. Des courants fermés et des solénoïdes..... 25

CHAPITRE VI.

DE L'ACTION DES AIMANTS SUR LES COURANTS MOBILES.

§ I. De l'action des aimants sur les courants rectilignes mobiles..... 29

§ II. De l'action des aimants sur un conducteur voltaïque plié d'une manière quelconque..... 31

CHAPITRE VII.

DE LA ROTATION DES COURANTS PAR L'INFLUENCE DES COURANTS, DES AIMANTS OU DU MAGNÉTISME TERRESTRE; ET RÉCIPROQUEMENT, DE LA ROTATION DES AIMANTS PAR L'INFLUENCE DES COURANTS.

§ I. De la rotation des courants par l'action des courants. 35

Pages.
§ II. De la rotation des courants par l'influence des aimants ou du globe terrestre..... 35
§ III. De la rotation des aimants par l'influence des courants..... 39
§ IV. De la rotation des courants par l'action de la terre.. 41
§ V. De la rotation du mercure..... 43

CHAPITRE VIII.

RAPPORTS ENTRE LES HÉLICES ET LES AIMANTS..... 46

CHAPITRE IX.

THÉORIES DES PHÉNOMÈNES ÉLECTRO-DYNAMIQUES ET DES TRAVAUX ANALYTIQUES QUI S'Y RAPPORTENT.

§ I. Théorie des forces révolutives..... 51
§ II. Théorie de M. Ampère..... 52
§ III. Observations relatives à la théorie de M. Ampère,.. 67

DE L'ÉLECTRO-CHIMIE.

LIVRE IV.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES..... 71

CHAPITRE PREMIER.

§ I. Du pouvoir conducteur des corps pour l'électricité... 74
§ II. Du pouvoir conducteur des liquides pour l'électricité. 92
§ III. De la relation qui existe entre la conductibilité électrique des corps non métalliques à l'état solide et celle des mêmes corps à l'état liquide..... 96

CHAPITRE II.

DES PROPRIÉTÉS DONT JOUISSENT LES LAMES OU FILS DE MÉTAL QUI ONT SERVI A OPÉRER DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I. Les fils ou lames de métal qui ont servi à des décompositions électro-chimiques possèdent des facultés électriques..... 107
§ II. Sur le pouvoir des métaux et d'autres corps solides pour opérer les combinaisons des substances gazeuses. 111

CHAPITRE III.

DE LA CHARGE DE LA PILE.

Pages.
§ I. Des effets de tension..... 121
§ II. Des variations qui surviennent dans la tension..... 126
§ III. Des rapports qui existent entre l'intensité du courant, le nombre et les dimensions des plaques voltaïques et l'énergie de l'action chimique du liquide sur le métal oxidable..... 133
§ IV. Des modifications qu'éprouve l'électricité voltaïque dans son passage à travers des conducteurs liquides interrompus par des lames de métal..... 136
§ V. Rapports entre l'intensité du courant et l'étendue des surfaces immergées..... 141
§ VI. De l'influence de la nature relative des conducteurs qui transmettent le courant pour diminuer l'intensité du courant.....

CHAPITRE IV.

DES EFFETS PRODUITS DANS LES CORPS SOLIDES PAR LE PASSAGE DE L'ÉLECTRICITÉ.

§ I. Des effets mécaniques..... 147
§ II. Des effets calorifiques..... 149
§ III. Des taches circulaires de Priestley..... 154
§ IV. Du transport des substances pondérables par les décharges électriques..... 156
§ V. Suite des phénomènes calorifiques de l'électricité.... 159

CHAPITRE V.

DES MOUVEMENTS PRODUITS DANS LES LIQUIDES CONDUCTEURS TRAVERSÉS PAR DES COURANTS ÉLECTRIQUES.

§ I. Observations de M. Herschel..... 173
§ II. Développements donnés par M. Nobili sur les observations précédentes..... 181
§ III. Des phénomènes de mouvements produits dans les alliages de potassium et d'antimoine ou de bismuth pendant leur décomposition sur des bains de mercure aqueux..... 168

CHAPITRE VI.

EXPOSÉ GÉNÉRAL DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I. De la nomenclature électro-chimique..... 191

Pages.
§ II. De l'identité des décompositions chimiques opérées avec des électricités émanées de diverses sources..... 194
§ III. De quelques conditions générales des décompositions électro-chimiques..... 199
§ IV. Des appareils propres à mesurer l'électricité voltaïque..... 202

CHAPITRE VII.

DES CAUSES QUI FONT VARIER L'ACTION CHIMIQUE DE LA PILE.

§ I. Des effets chimiques de la pile, quand on change la nature du liquide qui est placé dans les auges..... 209
§ II. De la quantité de gaz dégagée, suivant que la partie des fils immergés est plus ou moins longue..... 210
§ III. Des rapports de conductibilité des acides et des alcalis sous le rapport des effets chimiques de la pile.... 211
§ IV. Des rapports qui existent entre les effets chimiques et les quantités de sels mises dans l'entonnoir..... 212
§ V. Des rapports qui existent entre les effets chimiques, le nombre et la surface des plaques de la pile..... 213
§ VI. Comparaison entre les effets chimiques et la tension électrique d'une pile montée avec divers liquides.... 215

CHAPITRE VIII.

ACTION DE LA PILE SUR DIVERSES SOLUTIONS DE COMPOSÉS INORGANIQUES.

§ I. De l'action de la pile sur les solutions salines..... 218
§ II. De la décomposition des sels avec réduction immédiate de leurs bases..... 223
§ III. Suite de la réduction des oxides 228
§ IV. Observations sur les alliages de fer..... 237
§ V. Des métaux cristallisés..... 239
§ VI. De l'action de la pile sur les acides..... 242

CHAPITRE IX.

SUR LA NATURE DÉFINIE ET L'INTENSITÉ DE LA DÉCOMPOSITION ÉLECTRO-CHIMIQUE..... 248

CHAPITRE X.

DES ACTIONS CHIMIQUES OPÉRÉES AU MOYEN DE L'ÉLECTRICITÉ ORDINAIRE.

§ I. Des décompositions chimiques..... 256

Pages.
§ II. De la combinaison des gaz au moyen de l'étincelle électrique. 261

CHAPITRE XI.

DES ANNEAUX COLORÉS FORMÉS SUR LES PLAQUES MÉTALLIQUES PAR LES COURANTS ÉLECTRIQUES. 274

CHAPITRE XII.

DES DÉCOMPOSITIONS CHIMIQUES OPÉRÉES EN FAISANT INTERVENIR L'ACTION CHIMIQUE DES SOLUTIONS SUR L'UNE DES ÉLECTRODES. 287

CHAPITRE XIII.

DES COMPOSÉS ÉLECTRO-CHIMIQUES OU PRODUITS SECONDAIRES. 294

§ I. Des oxides métalliques. 296
§ II. Des oxides métalliques cristallisés. 297
§ III. Action de l'hydrogène sur différents corps servant de conducteurs négatifs; formation des chlorures métalliques. 305
§ IV. De l'action de la pile sur les sulfures alcalins. 307
§ V. Des doubles chlorures, doubles iodures, doubles bromures, doubles sulfures, doubles cyanures. 310
§ VI. Des sulfures métalliques cristallisés. 313
§ VII. Des iodures métalliques. 318

CHAPITRE XIV.

EXPOSÉ D'UNE MÉTHODE GÉNÉRALE POUR OBTENIR CRISTALLISÉS LE SOUFRE, LE SULFATE ET LE CARBONATE DE BARYTE.

§ I. Principe employé pour la formation des composés. . . . 320
§ II. Usage de l'appareil quand l'électrode positive n'est pas oxidable. 327

CHAPITRE XV.

DE L'ACTION DE L'ÉLECTRICITÉ COMME MOYEN D'ESSAI CHIMIQUE.

§ I. Procédé pour reconnaître les altérations que certaines dissolutions éprouvent au contact de l'air atmosphérique. 330
§ II. Moyen de constater la présence, dans une solution d'un nitrate, d'un chlorure, de l'acide nitrique ou de l'acide hydro-chlorique. . . . . .

Pages.
§ III. Moyen de constater la présence du plomb et du manganèse dans une solution et de les en retirer entièrement..... 333
§ IV. Méthode pour reconnaître la présence des métaux dans leurs dissolutions, en opérant leur réduction.... 337
§ V. Méthode pour essayer l'or et l'argent..... 343
§ VI. De la précipitation des métaux par d'autres métaux.. 345

LIVRE V.

THÉORIES ÉLECTRO-CHIMIQUES.

CHAPITRE PREMIER.

THÉORIES IMAGINÉES POUR EXPLIQUER LA FORMATION DES CORPS.

§ I. Premières vues sur la formation des corps jusqu'à la découverte de la théorie atomique..... 350
§ II. Théorie atomique..... 353
§ III. Théorie cristallo-atomique de M. Ampère..... 359
§ IV. Idée de M. Gaudin sur la structure intime des corps inorganiques..... 363

CHAPITRE II.

DES PREMIÈRES THÉORIES ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I. De la chaleur et de la lumière dégagées dans les actions chimiques; principes de Davy et de M. Berzélius à cet égard..... 366
§ II. Vues théoriques de M. Ampère..... 370

CHAPITRE III.

THÉORIES DES DÉCOMPOSITIONS ÉLECTRO-CHIMIQUES.

§ I. Théorie de Grotthuss..... 374
§ II. Théorie de M. Delarive..... 376

CHAPITRE IV.

DOCTRINE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE M. FARADAY.

§ I. Sur la quantité d'électricité que l'on suppose unie aux atomes de la matière..... 379

Pages.
§ II. Opinion de M. Faraday sur l'électricité produite dans les actions chimiques et sur les effets du contact métallique..... 383
§ III. De l'intensité du courant nécessaire pour opérer la décomposition électro-chimique ou l'électrolisation . 394
§ IV. De l'intensité du courant..... 396
§ V. Considérations générales sur les décompositions électro-chimiques..... 397

CHAPITRE V.

THÉORIE ÉLECTRO-CHIMIQUE DE L'AUTEUR..... 406

LIVRE VI.

DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES ET DE LEURS APPLICATIONS A LA PHYSIQUE GÉNÉRALE.

CHAPITRE PREMIER.

DE LA CONSTRUCTION DES PILES THERMO-ÉLECTRIQUES..... 424

CHAPITRE II.

§ I. Emploi de la pile thermo-électrique pour la détermination des propriétés de la chaleur rayonnante qui traverse les corps..... 431
§ II. Du rayonnement vers les objets éloignés et les espaces célestes..... 438

FIN DE LA TABLE.

Fig. 1

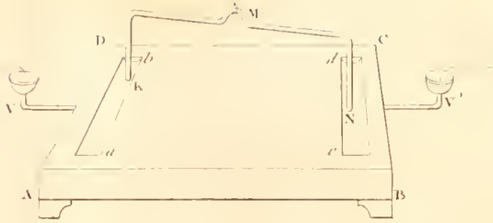


Fig. 4.

Fig. 5.

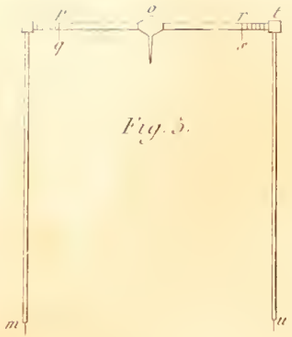


Fig. 5 bis.

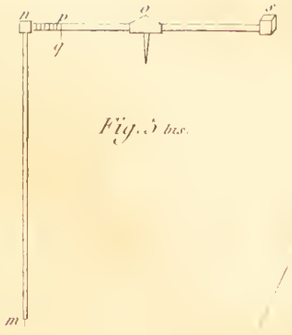


Fig. 6.

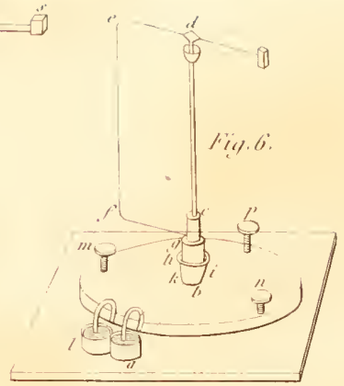


Fig. 17.

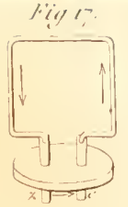


Fig. 18.

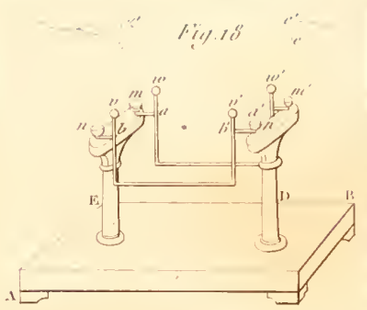


Fig. 2.

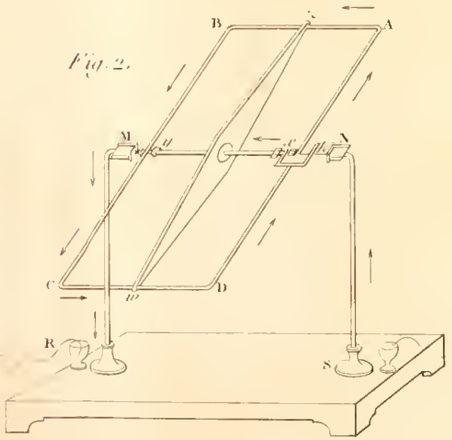


Fig. 7.

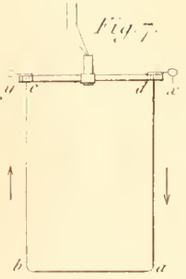


Fig. 8.

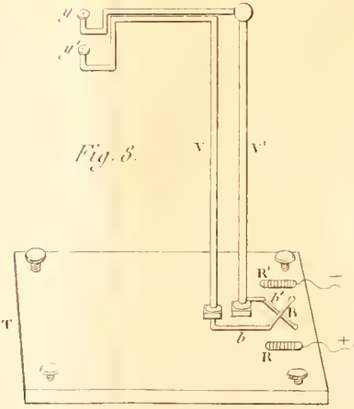


Fig. 9.

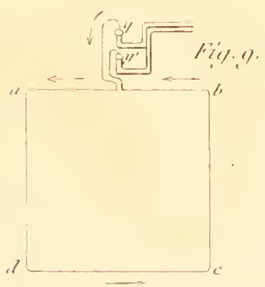


Fig. 16.

Fig. 15.

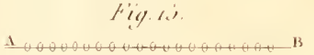


Fig. 19.

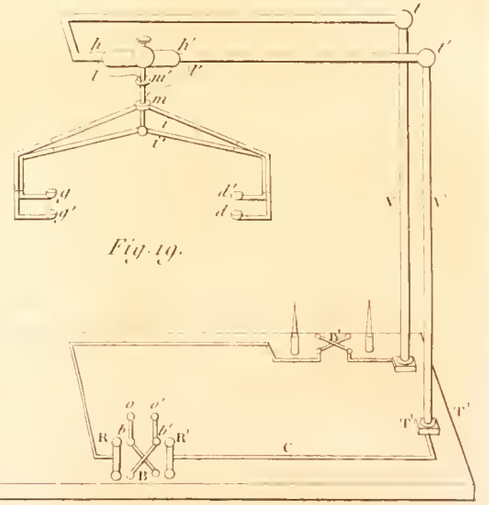


Fig. 9 bis.

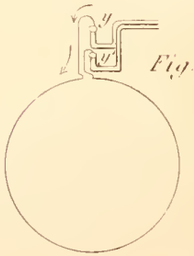


Fig. 14.

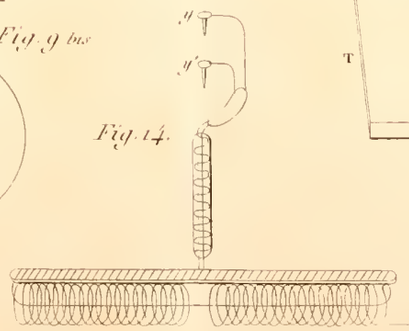


Fig. 3.

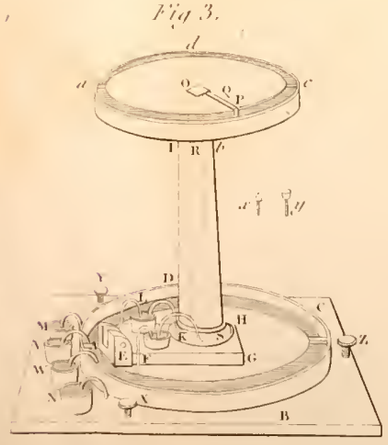


Fig. 10.

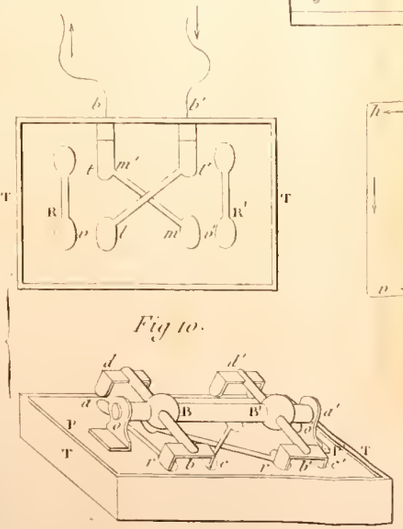


Fig. 11.

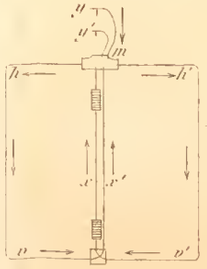


Fig. 12.

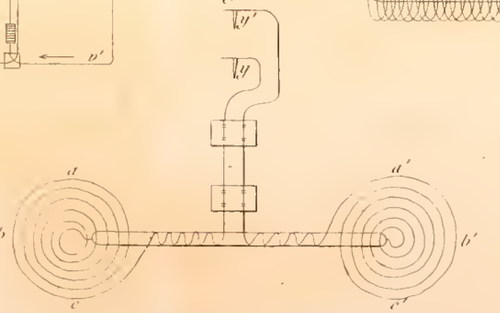


Fig. 13.

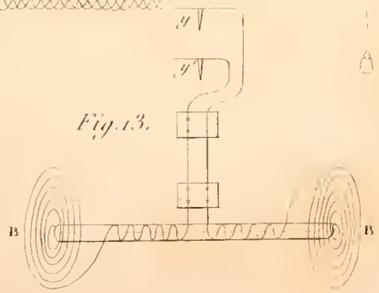
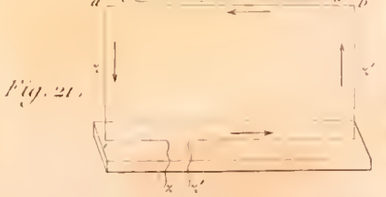


Fig. 20.

Fig. 21.



Gravé par Glum

Fig 22

Fig 23.

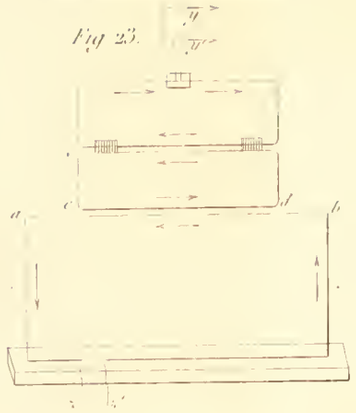


Fig 24.

Fig 25.

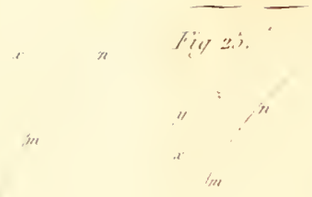


Fig 26.

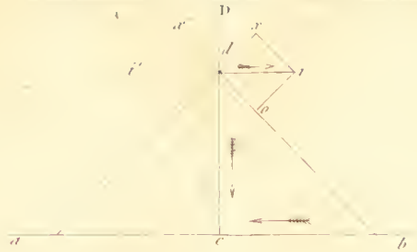


Fig 27.

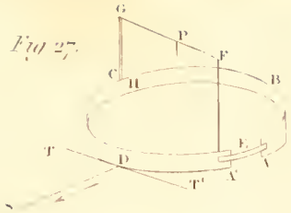


Fig 28.

Fig 29.

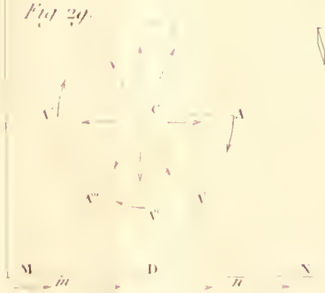


Fig 23 bis.

Fig 34.

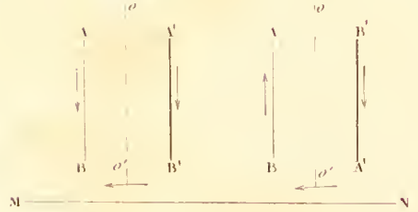


Fig 35.

Fig 36.

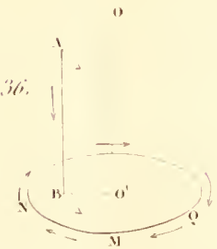


Fig 37.

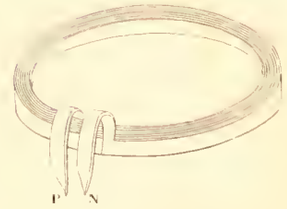


Fig 38.

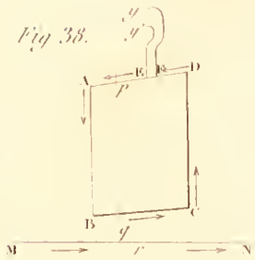


Fig 49.

Fig 30.

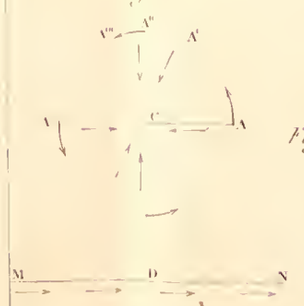


Fig 32

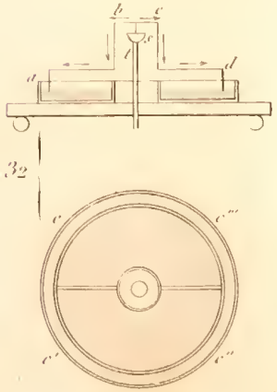


Fig 39.

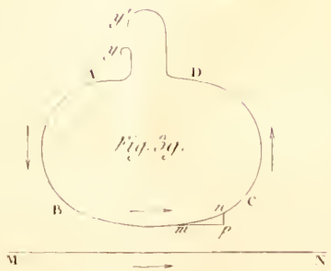


Fig 40.

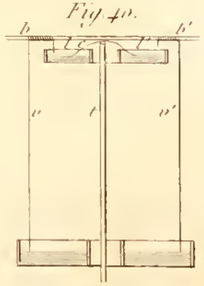


Fig 41 bis.

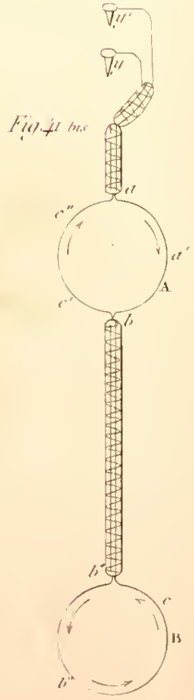


Fig 46.

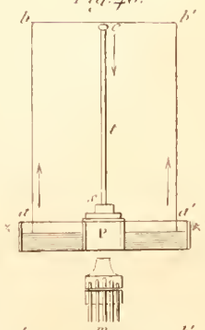


Fig 48 bis.

Fig 48.

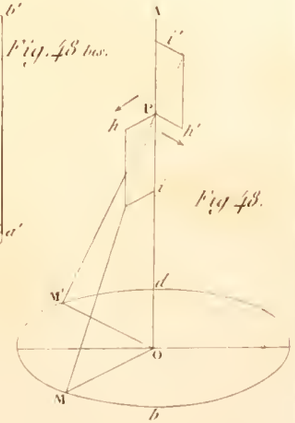


Fig 47.

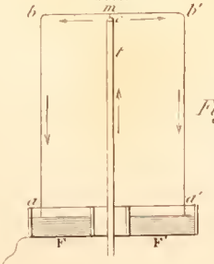


Fig 31.

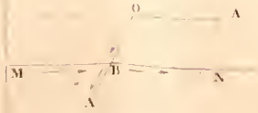


Fig 33.

Fig 41.

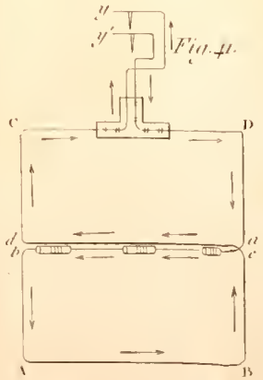


Fig 44.

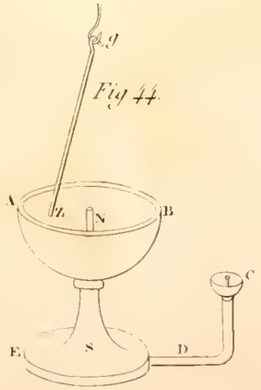
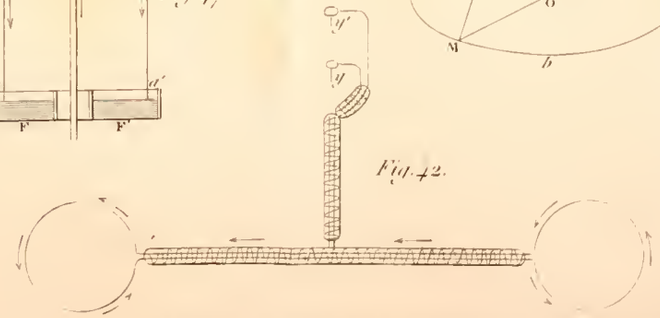


Fig 45.

Fig 42.



Gravé par Adam

Fig. 30.

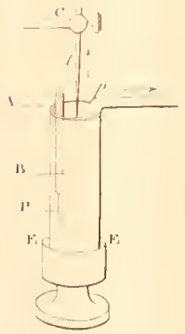


Fig. 31 bis

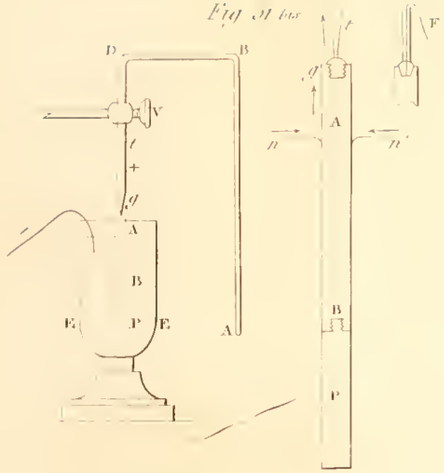


Fig. 32.

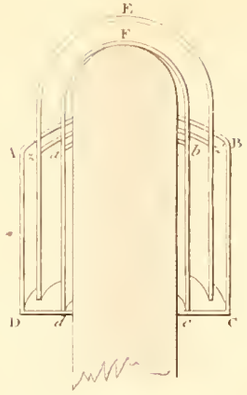


Fig. 34.

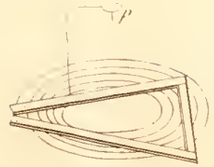


Fig. 36.

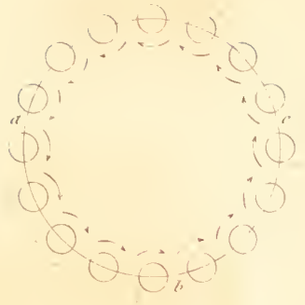


Fig. 37.

Fig. 33.

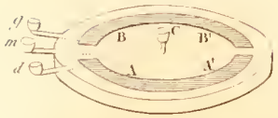


Fig. 35.

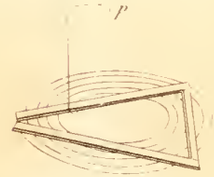


Fig. 61.

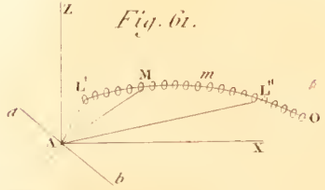


Fig. 51.

Fig. 60.

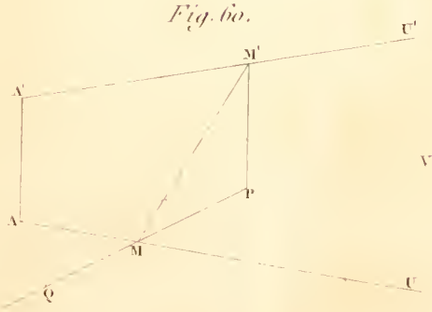


Fig. 62.

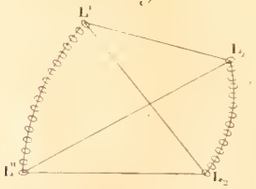


Fig. 63

Fig. 64.

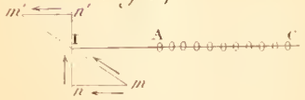


Fig. 65.

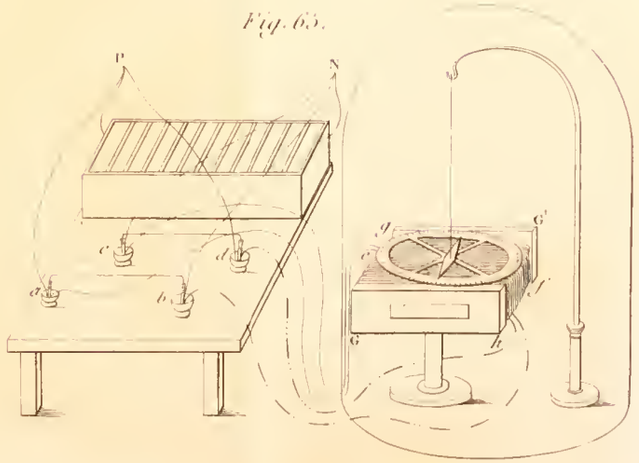


Fig. 58.

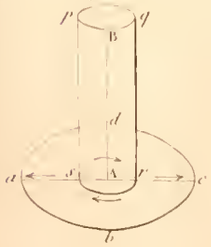


Fig. 59.

Fig. 69.

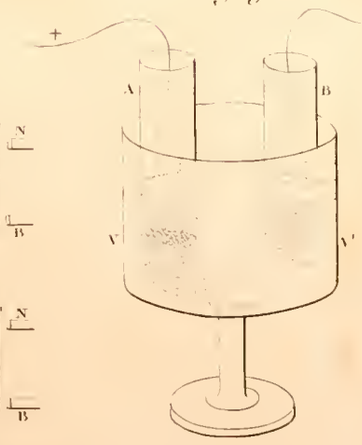


Fig. 71.

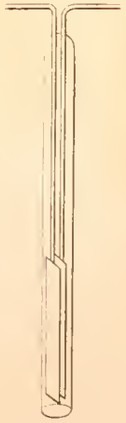


Fig. 70.

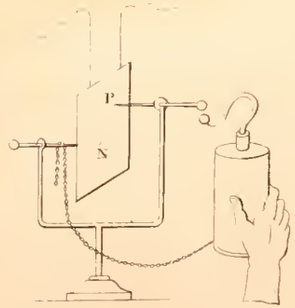


Fig. 73.

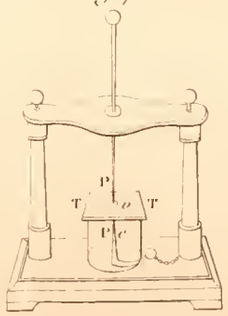


Fig. 66.

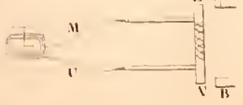


Fig. 67.

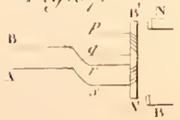


Fig. 68.

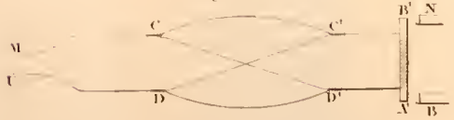


Fig. 72.

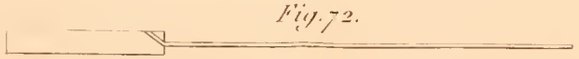
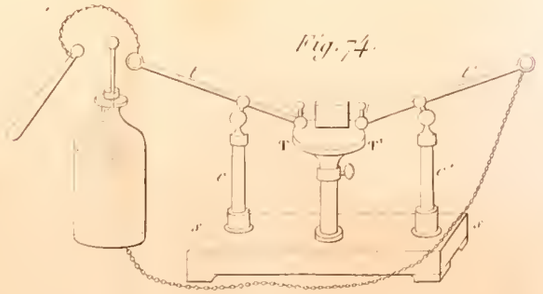


Fig. 74.



Gravé par Adam

Fig. 75.

Fig. 78.

Fig. 79.

Fig. 80.

Fig. 77.

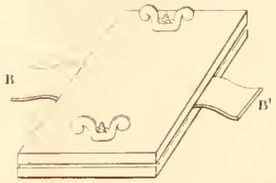


Fig. 83.

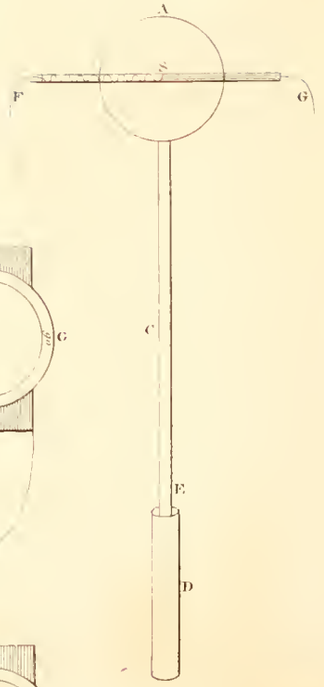


Fig. 84.

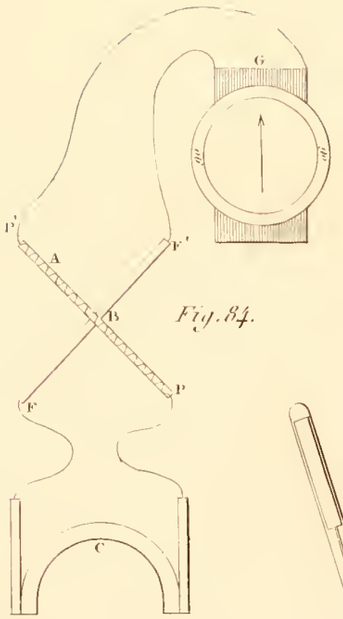


Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 85 bis.

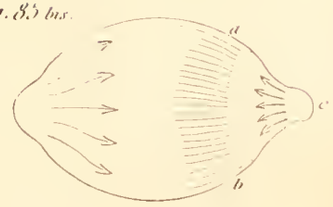


Fig. 85.

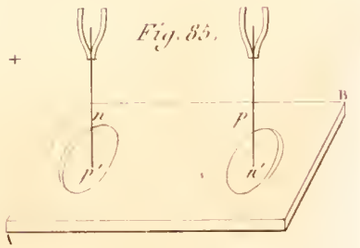


Fig. 76.

Fig. 81.

Fig. 82.

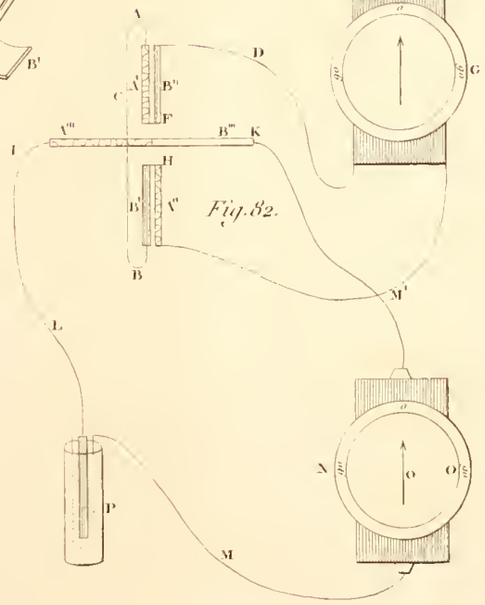


Fig. 96.

Fig. 97.

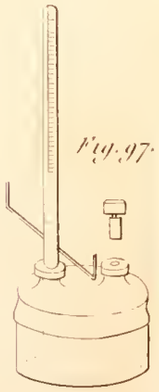


Fig. 98.

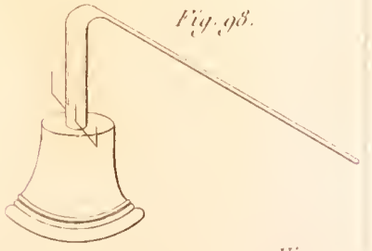


Fig. 90.

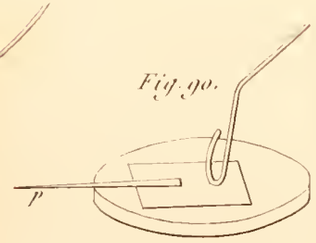


Fig. 88.

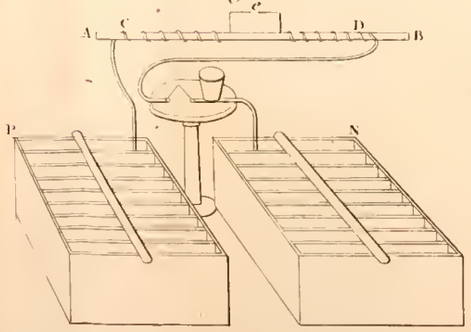


Fig. 89.

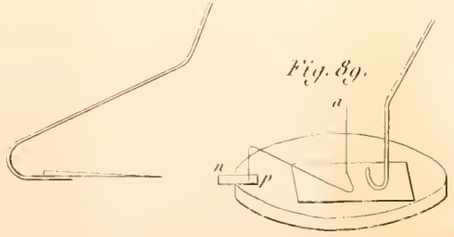


Fig. 91.

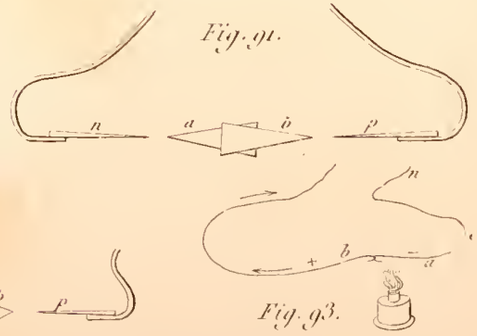


Fig. 92.

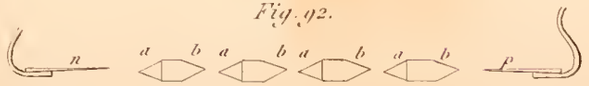


Fig. 93.

Fig. 94.

Fig. 95.

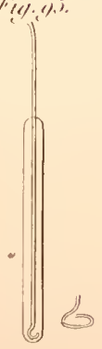


Fig. 99.

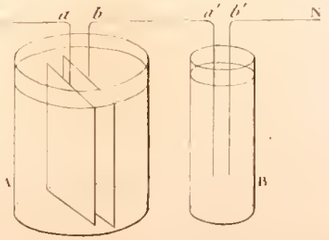


Fig. 100.

Gravé par Adam

Fig. 101.

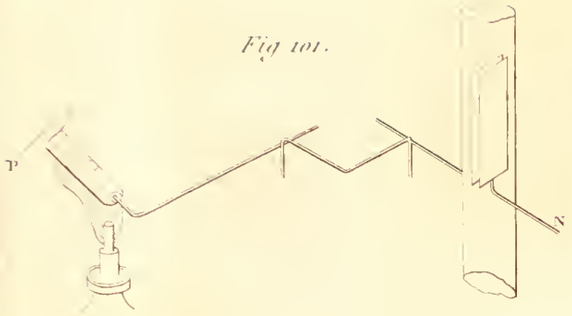


Fig. 101 bis

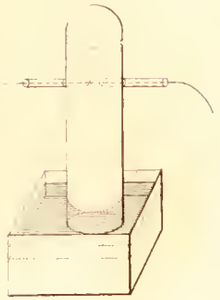


Fig. 102.

Fig. 116.

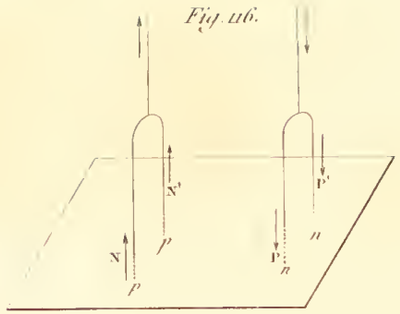


Fig. 117.

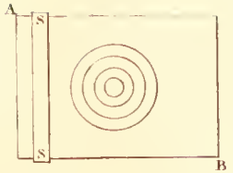


Fig. 118.

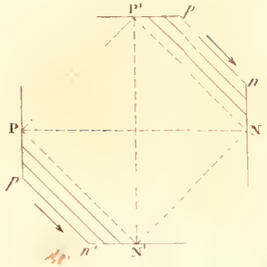


Fig. 119.

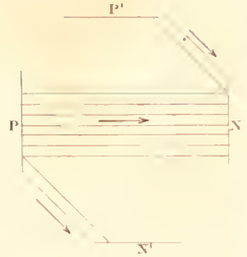


Fig. 123.

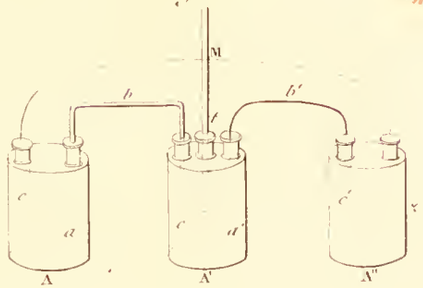


Fig. 120.

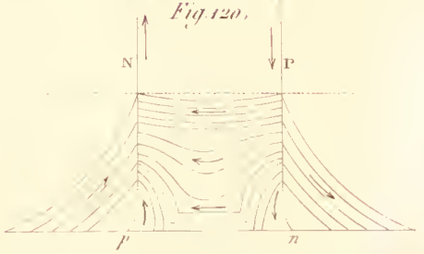


Fig. 103.

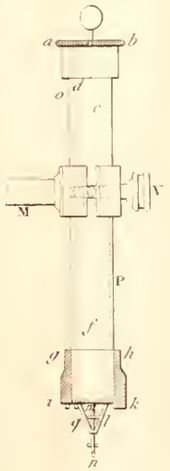


Fig. 104.

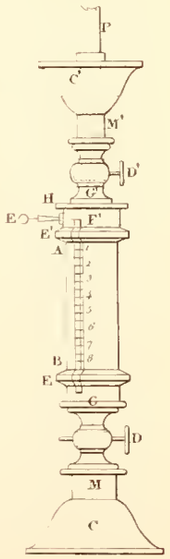


Fig. 105.

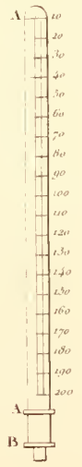


Fig. 106.

Fig. 109.

Fig. 107.

Fig. 108.

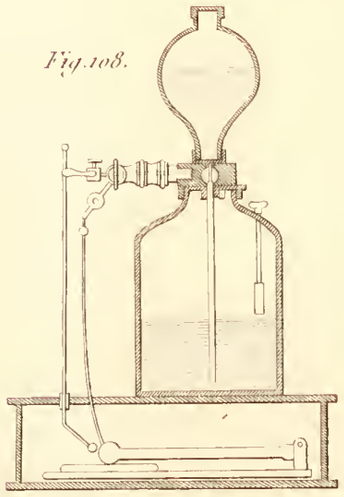


Fig. 122.

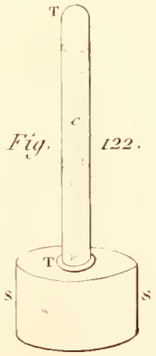


Fig. 121.

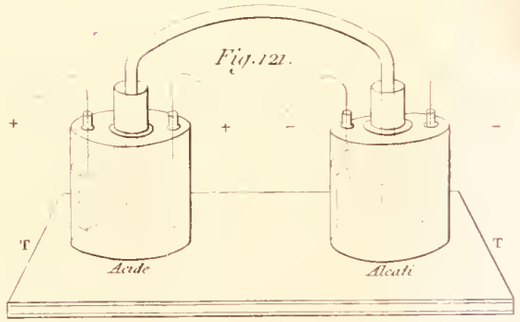


Fig. 112.

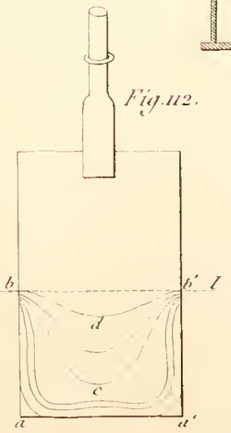


Fig. 110.

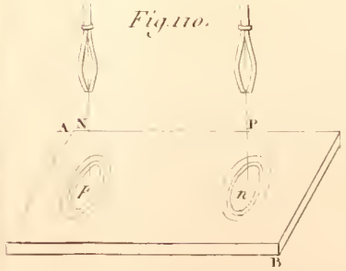


Fig. 111.

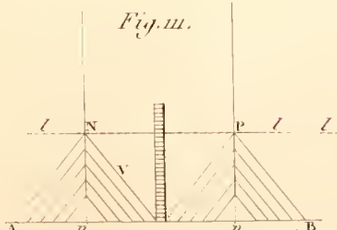


Fig. 113.

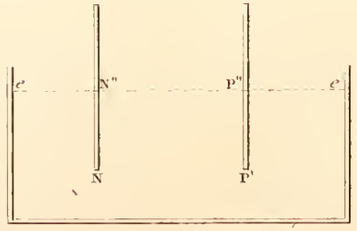


Fig. 114.

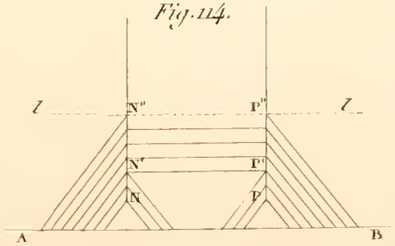
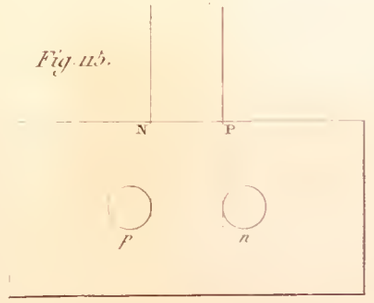
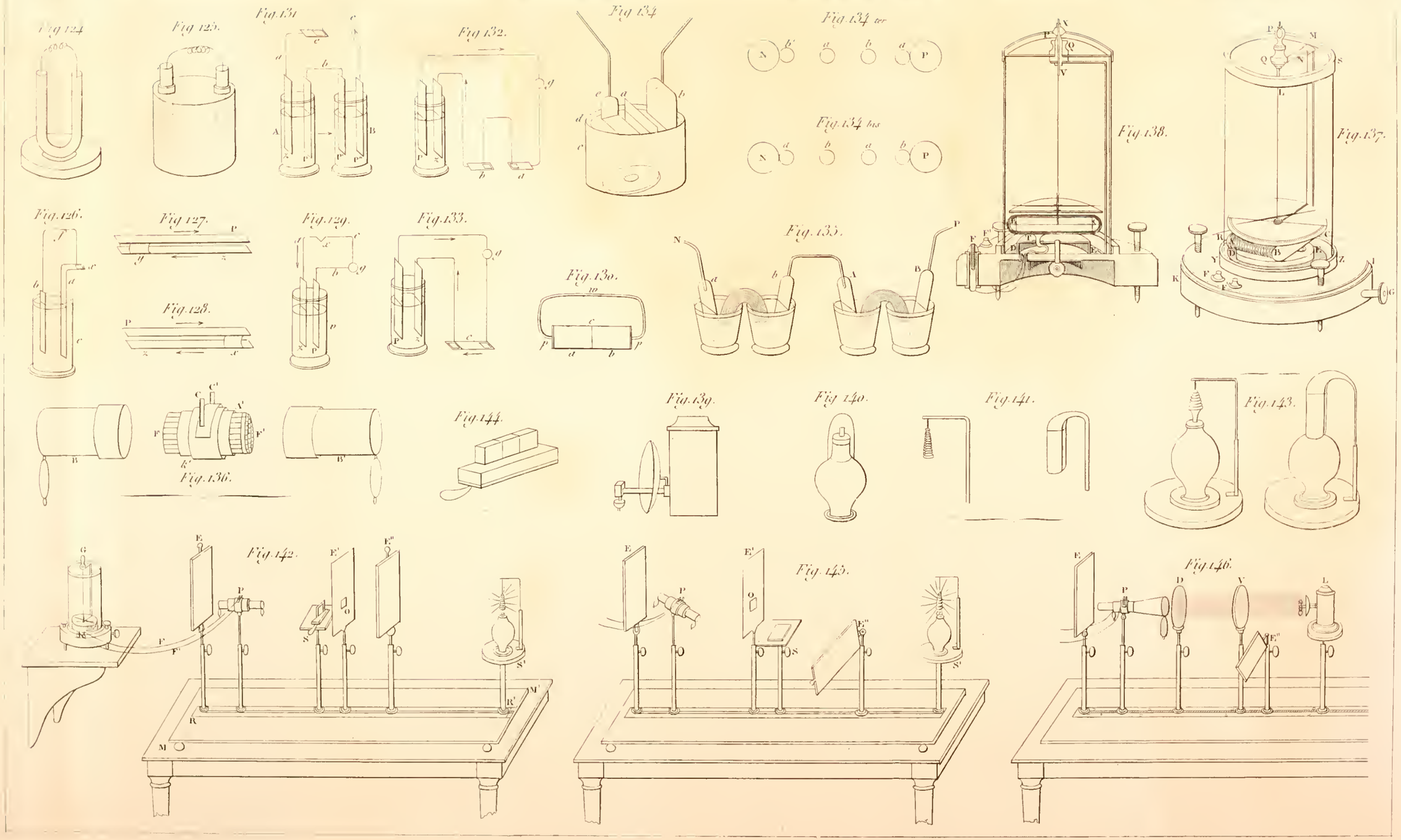


Fig. 115.



Gravé par Adam



Gravé par Adam